

Pedagogisch Leiderschap

het ondersteunen van vorming door onderwijs
in exacte vakken

George Lengkeek

Colofon

ISBN 978-94-6301-084-9 (paperback)

ISBN 978-94-6301-085-6 (ebook)

NUR: 847

Uitgeverij Eburon

Postbus 2867

2601 CW Delft

tel.: 015-2131484 / fax: 015-2146888

info@eburon.nl / www.eburon.nl

Foto omslag:

Omslagontwerp en grafisch ontwerp: Textcetera, Den Haag

© 2016. G. Lengkeek. Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden vervaelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of op enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de rechthebbende.

Pedagogisch Leiderschap
het ondersteunen van vorming door onderwijs in exacte vakken

Pedagogical Leadership
support of authorship by education in mathematics and physical science
(with a summary in English)

Proefschrift

ter verkrijging van de graad van doctor aan de Universiteit Utrecht op
gezag van de rector magnificus prof.dr. G.J. van der Zwaan, ingevolge het
besluit van het college voor promoties in het openbaar te verdedigen op
vrijdag 25 november 2016 des middags te 4.15 uur

door

George Lengkeek
geboren op 18 juni 1943 te Rotterdam

Promotoren:

Prof.dr. C. Bakker

Prof.dr. H.J. Tieleman

Opgedragen aan:

Ellen Lengkeek - de Valk

Met speciale dank voor de ondersteuning door:

Prof.dr. D. Nauta

Prof.dr. G.A. van der Wal

Prof.dr. G. de Zeeuw

Globale inhoudsopgave

Deel I	Eerste verkenning	9
Hoofdstuk 1	Inleiding	13
Hoofdstuk 2	Vraagstelling, concepten, problemen	27
Hoofdstuk 3	Uitgangspunten en methode	81
Deel II	Wiskunde en Vorming	103
	Inleiding	109
Hoofdstuk 4	Meetkunde en rekenkunde	111
Hoofdstuk 5	Formele wiskunde	121
Hoofdstuk 6	Machinematig denken	149
Hoofdstuk 7	Reflectieve samenvatting, aanvullingen, conclusies	183
Hoofdstuk 8	De fenomenologische context van intentionaliteit	215
Hoofdstuk 9	Drie familiekwesities	229
Hoofdstuk 10	De vierde familiekwesitie: identiteitskenmerken	253
Deel III	Fysische wetenschap en Vorming	309
	Inleiding	317
Hoofdstuk 11	Onderzoek en gevolglichheid	321
Hoofdstuk 12	Eerste historische gevolgen	345
Hoofdstuk 13	Latere ontwikkelingen en discussies	383
Hoofdstuk 14	Fysica en waarheid	469
Hoofdstuk 15	Fysica, zingevende ervaringen, vorming	513
Hoofdstuk 16	Drie familiekwesities	573
Hoofdstuk 17	De vierde familiekwesitie: identiteitskenmerken	607
Deel IV	Opleiding en uitleiding	665
	Inleiding	669
Hoofdstuk 18	Opleidingen	671
Hoofdstuk 19	Resultaten, discussie, suggesties	709
	Bronnen	751
	Samenvatting	769
	Summary	775
	Dankwoord	783
	Curriculum Vitae	785

DEEL I

Eerste verkenning

Inhoudsopgave

Hoofdstuk 1	Inleiding	13
	1 Voorbeelden van inspiratie	14
	2 Doelstelling	17
	3 Werkhypothese	17
	4 Aard van het onderzoek	20
	5 Inperking en beperking	22
	6 Leeswijzer en lezerspubliek	23
	6.a Globale opbouw	23
	6.b Lezerspubliek	24
	6.c Leeswijzers	24
	7 Vervolg	25
Hoofdstuk 2	Vraagstelling, concepten, problemen	27
	1 Van werkhypothese naar vraagstelling	27
	2 Relatie tussen doelstelling en vraagstelling	34
	2.a Bijdrage van onderzoek	35
	2.b Voorwerp van onderzoek	35
	2.c Wat wil ik daarvan te weten komen?	35
	3 Nadere bepaling van centrale concepten	36
	3.a Vorming	36
	<i>Voorbeelden van vorming</i>	38
	<i>Kenmerken en termen</i>	41
	<i>Vorming en identiteit</i>	44
	<i>Samenvatting</i>	47
	3.b Ondersteuning	47
	3.c Pedagogisch leiderschap	49
	<i>Pedagogisch</i>	49
	<i>Leiderschap</i>	50
	<i>Het pedagogisch leiderschap van leraren</i>	50
	<i>Het (ped)agogisch leiderschap van schoolleiders</i>	55
	<i>Het (ped)agogisch leiderschap van opleiders van schoolleiders</i>	61
	4 Problemen	70
	4.a Schakelprobleem	70
	4.b Gevolglijkeidsprobleem	71
	<i>Verrassende gevolgen</i>	72
	<i>Dialogoog als paradigma</i>	72
	<i>Machine als paradigma</i>	73
	<i>Aanvullende onderzoeksvragen</i>	76

5	Vervolg	76
5.a	Integratie van aanvullende vragen	77
5.b	Afronding	79
Hoofdstuk 3	Uitgangspunten en methode	81
1	Betekenis en belang van wetenschap	82
2	Betekenis en belang van wetenschapsfilosofie	85
2.a	Praktijkgerichtheid vraagt om interdisciplinaire samenwerking	86
2.b	Levensbeschouwelijke positiekeuze met pedagogische implicaties	88
	<i>De sciëntistisch-existentialistische positie</i>	89
	<i>De metafysisch-apriorische positie</i>	90
	<i>De communitarisch-dialogische positie</i>	92
	<i>Tenslotte</i>	94
2.c	Conclusie	94
3	Methode en beperking	95
3.a	Het vermijden van reductionisme en dualisme	95
3.b	Recente ontwikkelingen in de biologie	96
3.c	Familieconcept	101
3.d	Beperking	102

HOOFDSTUK 1

Inleiding

The Road Not Taken

by Robert Frost

Two roads diverged in a yellow wood,
And sorry I could not travel both
And be one traveler, long I stood
And looked down one as far as I could
To where it bent in the undergrowth;

Then took the other, as just as fair,
And having perhaps the better claim,
Because it was grassy and wanted wear;
Though as for that the passing there
Had worn them really about the same,

...

De aanleiding voor deze studie vormen ervaringen in twee verschillende praktijksituaties, waarvan men kan wensen dat zij met elkaar verband houden, maar waarvan niet direct duidelijk is *hoe* zij met elkaar verband kunnen houden.

Als leraar in het voortgezet onderwijs werd ik geïnspireerd door de ontwikkeling van een eigen persoonlijkheid bij leerlingen, zoals die ook in het schoolleven zichtbaar kan worden. Deze ervaringen riepen vragen op naar de functies die de school al dan niet voor die ontwikkeling van leerlingen vervult. Fungeert het schoolleven als een rijke of als een arme voedingsbodem voor hun ontwikkeling als persoon? Krijgen zij alleen nuttige bagage mee en moeten zij zelf maar uitzoeken wat zij ermee doen, of worden zij ook bemoedigd en uitgedaagd om hun eigen unieke vorm te vinden, om iets persoonlijks toe te voegen aan cultuur en samenleving, en om zodoende iets goeds (moois, spannends, waardevols, ...) van hun leven te maken?

Later werd ik als opleider van schoolleiders geïnspireerd door schoolleiders die een indrukwekkende toewijding aan de integrale ontwikkeling van leerlingen lieten blijken. Deze ervaringen riepen vragen op naar de rol die een opleiding van schoolleiders kan vervullen, om een dergelijke toewijding te versterken, en om de deelnemers toe te rusten om (beter) leiding te geven aan de ontwikkeling van een school, die ook de bovenbedoelde persoonsvorming ondersteunt.

In deze studie zal voortaan de term '*vorming*' gebruikt worden om de ontwikkeling te benoemen, die hierboven in eerste benadering geformuleerd werd als "ontwikkeling van een eigen persoonlijkheid". De uitdrukking '*pedagogisch leiderschap*' zal gebruikt worden om het leiderschap te karakteriseren dat op het bevorderen van deze vorming is gericht.

1 VOORBEELDEN VAN INSPIRATIE

Om een beeld te geven van de hierboven genoemde inspiratiebronnen zal ik deze illustreren met enkele voorbeelden.

Op een dag in 1969, in de eerste jaren van mijn leraarschap, werd ik in een pauze aangesproken door een leerlinge uit Havo 4. Zij vertelde dat zij en haar vriendinnen gesprekken hadden over 'problemen in de wereld'. Haar oudere broer, een maatschappijkritische student, begeleidde hen daarbij. Zij zei: Er gebeurt in de wereld van alles dat misschien ook wel voor ons belangrijk is, of waarvan we ons iets zouden moeten aantrekken. Er gebeurt zoveel, maar we gaan naar school en leven ons leven alsof er niets gebeurd is. Er gaat zoveel aan ons voorbij. Waarom wordt daar op school geen aandacht aan besteed? Wilt u misschien eens met ons komen praten om te kijken of daar op school iets aan veranderd kan worden?

Ik was verrast door de diepgang van haar vraag, en door de ontdekking dat een vriendinnengroep van haar leeftijd zulke gesprekken voerde. Bovendien voelde ik mij sterk aan-

gesproken, omdat vergelijkbare vragen ook bij mij leefden. Ik ging dus op bezoek bij de vriendinnengroep, en met hen in gesprek over de mogelijkheden om op school iets in beweging te brengen.

De gesprekken met de meiden uit Havo 4 leidden tot het plan om samen een informatie-project te organiseren. Als voorbeeld van een gebied waar zich belangrijke ontwikkelingen afspeelden kozen zij voor India. Met ondersteuning door externe deskundigen en enkele leraren organiseerden zij een India-project voor de hele Havo-afdeling. De geschiedenis, de culturen en de ontwikkelingsproblemen van India kwamen op verschillende manieren aan de orde. In eerste instantie wilden zij, om de sfeer van 'liefdadigheid' te vermijden, geen goede doelen acties. Maar, toen de projectweek eenmaal achter de rug was vonden zij het toch passend om ook concreet in actie te komen en geld bijeen te brengen voor een waterboorproject in Indore.

Het India-project was op deze school het begin van een lange reeks projecten over maatschappelijke vraagstukken, ver weg en dichtbij, die voor ons uitdrukking waren van het inzicht dat 'mondiale vorming' een plaats verdiende op school.

Dit verhaal had voor mij een opmerkelijk vervolg. Een vervolg dat allerlei vragen bij mij opriep naar de combinatie van mijn rollen als vakdocent en als opvoeder.

Een leerlinge die veel tijd had besteed aan de voorbereiding en uitvoering van zo'n maatschappelijk project, maakte ook deel uit van één van de klassen waarvoor ik het wiskunde onderwijs verzorgde. Door al die activiteiten was zij minder toegekomen aan haar gewone schoolwerk. Dat bleek dan ook uit de resultaten die zij voor wiskunde behaalde. Bij het overgangsrapport hing het erom of zij op een 5 of op een 6 zou uitkomen.

Het was de gewoonte om de rapportcijfers van tevoren in de klas met de leerlingen te bespreken. In dit geval vertelde ik dus hoeveel waardering ik had voor het werk dat zij allemaal voor de school had gedaan, maar dat het gewone wiskunde leerwerk daar wel onder geleden had, en dat ik aarzelde tussen een 5 en een 6.

In reactie daarop zei zij, tot mijn verrassing, dat zij op haar rapport het liefst een onvoldoende wilde hebben. Zij zei: "Ik heb in dit jaar heel veel geleerd dat heel belangrijk voor mij was, en ik had het voor geen goud willen missen. Maar, inderdaad, ik heb niet genoeg tijd besteed aan de 'gewone dingen' die je op school hoort te leren. Maar, die gewone dingen moet ik toch ook leren. Als u me nu, net als die andere leraren die me wel aardig vinden, net een voldoende geeft, dan zal je zien dat ik toch nog over ga. Maar, dan zou ik volgend jaar, om een beetje mee te kunnen komen, al mijn tijd alleen aan het gewone schoolwerk moeten besteden, en dat wil ik niet. Ik wil liever deze klas over doen om zowel tijd te hebben voor het gewone schoolwerk, als voor de andere dingen die ik belangrijk vind."

Ik was sterk getroffen door de volwassenheid van haar zelfinzicht, en door de vastberadenheid waarmee zij zelf aanstuurde op haar zittenblijven. Zij had zelf besloten hoe zij deze school wilde afmaken, en zij slaagde er nadien ook prima in om zonder verder doubleren haar schoolopleiding op haar eigen manier succesvol af te ronden.

De vragen, die deze ervaring voor het eerst bij mij opriep, hadden vooral betrekking op de verhouding tussen enerzijds de fascinerende persoonlijke ontwikkeling die leerlingen doormaken, en anderzijds het onderwijsaanbod waar zij vanuit de school mee te maken krijgen. Enerzijds ontdekken zij hun seksualiteit, experimenteren zij met liefde en vriendschappen, worstelen zij met hun verhoudingen tot ouders en autoriteiten, en anderzijds moet ik hen lastig vallen met vierkantsvergelijkingen. Enerzijds proberen zij oplossingen te vinden voor de existentiële vraagstukken van hun identiteit en van de plek die zij in de wereld al dan niet willen innemen, en anderzijds moet ik hen wiskunde-sommen leren oplossen. Hoe verhouden zich onderwijs en vorming? Zitten die elkaar in de weg, hebben ze weinig met elkaar te maken, of kunnen ze ook een sterke combinatie vormen?

De verhouding tussen onderwijs en vorming is mij in verschillende gedaantes blijven fascineren. Na de 'mondiale vorming' kwamen 'vredesopvoeding', 'levensbeschouwelijke vorming', 'religionskundliche Bildung', 'zingevende kwaliteit', et cetera¹.

De andere inspiratiebron voor deze studie ontdekte ik veel later in mijn onderwijloopbaan, bij het begeleiden en opleiden van schoolleiders. Ik had het voorrecht om onder hen veel collega's te ontmoeten die mij inspireerden door hun persoonlijke betrokkenheid, hun inhoudelijke visies, en hun toewijding aan de ontwikkeling van hun school.

Eén van hen vertelde eens hoe trots zij was op haar VMBO-afdeling omdat haar team van leraren (onder haar leiding) een mooi ritueel had ontwikkeld voor het afscheid van leerlingen, wanneer zij met hun diploma de school verlaten. Bij iedere leerling kozen zij een leraar die de leerling een aantal jaren had meegemaakt. Deze collega kocht voor deze leerling een klein symbolisch afscheidskado, bedacht daarbij een korte persoonlijke toespraak, en voegde die ook als afscheidsbrief bij het kado. In de diplomering-bijeenkomst, onder aanwezigheid van alle leraren, de betrokken leerlingen, ouders en familie, werd aan elke leerling persoonlijk het afscheidskado uitgereikt en toegelicht door de leraar die er een persoonlijk toespraakje aan verbond. Daarbij bleek dat de leraren die dit uitvoerden meestal zeer goed in staat waren om kort en krachtig te typeren hoe zij een leerling zich als persoon hadden zien ontwikkelen, en wat zij in deze leerling konden waarderen. Voor de leerlingen kreeg het afscheid van de school op deze manier veel betekenis, en de schoolleider had later van velen van hen gehoord dat zij het kado en de toespraak zorgvuldig bewaarden als een waardevolle bekroning (naast het diploma) van hun schooltijd.

Het zal duidelijk zijn dat haar verhaal mij aansprak omdat deze schoolleider er blijk van gaf dat zij, samen met haar team, waarde hechtte aan de persoonlijke ontwikkeling van

¹ Daarvan getuigt ook een spoor van publicaties (Lengkeek, 1982, 1988, 1992, 1993a, 1993b, 1996, 1998, 2000a, 2000b; Lengkeek, Paalman, Nuyten, & Peters, 1984; Lengkeek & de Wit, 1992).

leerlingen, en zich er ook voor inzetten om die waardering in de organisatie van het diplomeringssritueel tot uitdrukking te brengen.

Dit voorbeeld illustreert dat het leiding geven door een schoolleider en de vorming van leerlingen inderdaad met elkaar te maken kunnen hebben. Maar, daarmee is nog alerminst duidelijk gemaakt op welke manier de verhouding tussen onderwijs en vorming constructief gemaakt kan worden, en is het ook nog niet duidelijk wat de rol van een schoolleider daarbij is naast de rollen die leraren al vervullen². En tenslotte is het nog niet duidelijk hoe een opleiding voor schoolleiders er aan zou kunnen bijdragen dat haar deelnemers zich ook in dit opzicht tot betere schoolleiders ontwikkelen.

2 DOELSTELLING

Deze en dergelijke inspirerende ervaringen, en de vragen die zij oproepen, motiveerden tot het ondernemen van onderzoek. Het doel van dit onderzoek kan geformuleerd worden als: *het leveren van een bijdrage aan verbetering van schoolleiders-opleidingen, waarbij deze verbetering met name gericht is op de ontwikkeling van pedagogisch leiderschap bij de betrokken schoolleiders.*

3 WERKHYPOTHESE

Er zijn al eerder pogingen ondernomen om verband te leggen tussen de twee praktijk-situaties die ik wil verbinden. Maar, daarbij lag het accent op een ander aspect van onderwijs. Ik denk hierbij aan de 'effectieve schoolbeweging'. Deze beweging kwam in de 70er jaren van de vorige eeuw in de Verenigde Staten en in Engeland op, vanuit de constatering dat een aantal scholen er niet in slaagden om leerlingen de beheersing van basisvaardigheden bij te brengen. Met de uitdrukking 'effectieve school' werd een school bedoeld die 'goed' is, in de zin dat de leerlingen in deze school leren om taal en rekenen (c.q. wiskunde) te beheersen op een niveau dat nodig is om volwaardig deel te nemen in de maatschappij (Edmonds, 1977).

Onderzoek dat in het spoor van deze 'effectieve school beweging' werd ondernomen maakte aannemelijk dat deze effectiviteit van onderwijs niet alleen afhankelijk is van leerkrachten, leermiddelen, of curriculum, maar in belangrijke mate ook van de schoolcultuur en de schoolorganisatie, en van de manier waarop er leiding aan die organisatie

² Mijn eerdere reflecties over deze vragen lieten ook een spoor van publicaties na (Lengkeek, 2002, 2003, 2004, 2009; Lengkeek & Rozemond, 2004; Lengkeek & Telleman, 1995, 1993).

gegeven wordt³. Dit onderzoek opende de ogen voor het gegeven dat leiderschap wel degelijk van invloed is op de kwaliteit van leerprocessen bij leerlingen, en dat het een goede zaak is om de kwaliteit van leiderschap in dit licht te beschouwen. Als aanduiding voor leiderschap dat in positieve zin bijdraagt aan deze 'schooleffectiviteit' zag men internationaal de opkomst van de uitdrukking '*instructional leadership*'⁴. In Nederland werd dit meestal vertaald als '*onderwijskundig leiderschap*'. Verschillende opleidingen voor schoolleiders, die daarna het licht zagen, sloten zich bij deze ontwikkelingen aan en maakten duidelijk dat zij aan de ontwikkeling van onderwijskundig leiderschap een substantiële bijdrage wilden geven. Daarbij werden ideeën ontwikkeld over de manieren waarop een opleiding voor schoolleiders er aan bij zou kunnen dragen dat uiteindelijk leerlingen beter toegerust worden met basiskennis en basisvaardigheden. Zodoende werd er dus al eerder verband gelegd tussen een opleiding van schoolleiders aan de ene kant, en de ontwikkeling van leerlingen aan de andere kant.

In reactie daarop werd het sterke accent op onderwijskundig leiderschap en school-effectiviteit door anderen als eenzijdig ervaren, en als tekort doende aan de bredere taak van de school. In 1996 verwoordde bijvoorbeeld Lea Dasberg deze eenzijdigheid en bepleitte zij een "ommezwaai" in de richting van "pedagogisch leiderschap". Zij omschreef daarbij dit leiderschap als vormgeving aan "intern schoolbeleid dat zich tot taak stelt de *menswording* te dienen" (1996, p. 21). Zo was het Lea Dasberg die mij op het idee bracht om aan mijn studie de titel "pedagogisch leiderschap" te geven. Dit te meer omdat haar concept van 'menswording' in betekenis verwant is aan wat ik hierboven 'vorming' heb genoemd. In een eerdere publicatie onderscheidt zij 'socialiseren' van 'opvoeden'. Daarbij is socialiseren gericht op het invoeren van jongeren in de maatschappij zoals die *is*, terwijl opvoeding erop gericht is dat jongeren idealen ontwikkelen die betrekking hebben op de wereld, de beschaving zoals die *zou moeten zijn* (1993, p. 5). Lea Dasberg reserveert de begrippen 'opvoeden' en 'pedagogie' exclusief voor de ondersteuning van wat zij 'menswording' noemt. Het socialiseren valt daar niet onder. Dit stemt overeen met de betekenis die ik in deze studie aan 'pedagogisch' toeken. Daarmee bedoel ik ook

³ Het onderzoek leek aanvankelijk de samenhang tussen leiderschap en schooleffectiviteit duidelijk aan te kunnen tonen. Later bleek het toch lastig om die samenhang kwantitatief aantoonbaar en meetbaar te maken. Met name de modellen die een direct effect veronderstelden bleken weinig duidelijkheid te kunnen bieden. Modellen die uitgingen van indirecte effecten (bijv. schoolleider -> school-missie -> werkhouding leraren -> leerling-resultaten) konden wel positieve correlaties aantonen (van Wieringen, 1989; Witziers, Bosker, & Krüger, 2003).

⁴ In de loop der tijd werden ook andere uitdrukkingen gebruikt, zoals: '*educational management*', '*transformational leadership*' en dergelijke. De verschillende betekenisnuances en benaderingen die achter deze termen schuil gaan bemoeilijken vergelijkend onderzoek (Witziers, Bosker, & Krüger, 2003).

exclusief de ondersteuning die 'vorming' krijgt, en denk ik niet aan het socialiseren waarmee opvoeding en pedagogie dikwijls ook geassocieerd worden.

Een recente auteur, die eveneens het belang benadrukt om in het onderwijs, naast het socialiseren, nog een andere functie te onderscheiden is Gert Biesta. Hij onderscheidt drie functies van onderwijs: *kwalificatie*, *socialisatie* en *persoonsvorming* (of *subjectificatie*) (2011; 2012). Met het onderscheiden van een 'derde dimensie' naast kwalificatie en socialisatie, sluit deze studie aan bij Biesta's driedeling. In deze studie zal deze 'derde dimensie' echter aangeduid worden als '*ondersteuning van vorming*', en zal een eigen reflectie ondernomen worden op de betekenis van deze bijzondere functie van onderwijs.

Het inzicht, dat naast 'onderwijskundig leiderschap' ook 'pedagogisch leiderschap' genoemd kan worden als een belangrijke dimensie van het leiderschap van schoolleiders, bracht mij op het idee van een vergelijking die in principe een hypothese impliqueert:

Net zo goed als men kan veronderstellen (en onderzoeken) dat de effectiviteit van een school voor het leren van nuttige kennis en vaardigheden samenhangt met specifieke kenmerken van het leiderschap van de schoolleiding; en net zo goed als men groeiend inzicht in die samenhang kan gebruiken voor een schoolleidersopleiding;

net zo goed kan men veronderstellen (en onderzoeken) dat er verband bestaat tussen enerzijds de ondersteuning die het schoolleven biedt bij de vorming van leerlingen, en anderzijds kenmerken van het leiderschap van de schoolleiding. En ook met groeiend inzicht in deze samenhang kunnen opleidingen van schoolleiders hun voordeel doen.

Deze aanname heeft, als een deels expliciete en deels impliciete 'werkhypothese', een belangrijke motiverende rol gespeeld bij de ontwikkeling en uitvoering van de opleiding voor schoolleiders waar ik zelf bij betrokken ben geweest⁵. Daarnaast ontdekte ik dat het NIVOZ een leertraject voor schoolleiders aanbiedt dat expliciet de titel 'Pedagogisch Leiderschap draagt'⁶. Dit leertraject en mijn onderzoek zijn onafhankelijk van elkaar ontstaan. Dit illustreert dat de hierboven beschreven reactie op een eenzijdig accent op onderwijskundig leiderschap in bredere kring leeft, en dat bij verschillende betrokkenen de gedachte is opgekomen dat de opheffing van die eenzijdigheid ook consequenties moet hebben voor opleidingen of leertrajecten voor schoolleiders.

Naar mijn overtuiging is het van belang om deze werkhypothese op te vatten als eerste versie van een toetsbare onderzoekshypothese. In ieder geval voor die aspecten ervan

⁵ De opleiding tot Master in Educational Leadership van het Centrum voor Nascholing (CNA) te Amsterdam.

⁶ NIVOZ staat voor Nederlands Instituut voor Onderwijs en Opvoedingszaken, www.nivoz.nl.

die onderzoeksmatige toetsing toelaten. Toetsend onderzoek kan duidelijkheid, zekerheid, maar ook nieuwe vragen en uitdagingen opleveren die een belangrijke stimulans kunnen vormen voor voortgaande verbeteringen van opleidingen voor schoolleiders.

Om deze werkhypothese als eerste versie van een toetsbare onderzoekshypothese te kunnen gebruiken moet zij expliciet geformuleerd worden. Daarom worden de twee aannames waaruit zij bestaat nu als volgt geformuleerd:

1. *Het is mijn aanname dat er verband bestaat tussen enerzijds de ondersteuning die het schoolleven biedt bij de vorming van leerlingen, en anderzijds kenmerken van het leiderschap van de schoolleiding.*
2. *Het is ook mijn aanname dat opleidingen van schoolleiders met de kennis van dit verband hun voordeel kunnen doen⁷.*

4 AARD VAN HET ONDERZOEK

Maar, om dergelijke aannames vatbaar te maken voor toetsend onderzoek⁸ is het nodig dat er een conceptuele voorstelling⁹ bestaat van de manier waarop het één (kenmerken van een opleiding voor schoolleiders) vermoedelijk met het ander (vorming van leerlingen) in verband staat, of in verband *kan* staan. Het eerste deel van de werkhypothese nodigt uit om vermoedens te concipiëren (en te toetsen) omtrent de aard van een *bestaand* verband, terwijl het tweede deel uitnodigt om (op grond van het antwoord op het eerste deel) *mogelijkheden* te concipiëren (die experimenteel getoetst kunnen worden). In beide gevallen geldt, dat er eerst dergelijke voorstellingen moeten zijn voordat zij onderzoeksmatig getoetst kunnen worden. De resultaten van dergelijke toetsingen kunnen

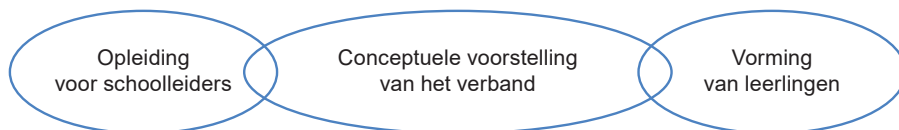
⁷ Vergelijkbare aannames hebben gemotiveerd tot innovaties van lerarenopleidingen en naschoolingstrajecten voor leraren. Denk bijvoorbeeld aan: 'vormende lerarenopleiding' (de Bekker-Ketelaars, Miedema, & Wardekker, 2006; Wielenga, 1996), 'pedagogisch opleiden' (ten Dam, Veugelers, Wardekker, & Miedema, 2004) en 'pedagogische tact' (Stevens et al., 2013).

⁸ De uitdrukking 'toetsend onderzoek' wordt hier gebruikt om een categorie van onderzoek aan te duiden die 'empirisch onderzoek' omvat, maar ook ruimer is. Binnen die ruimte moeten ook onderzoek en experimenten gerekend worden die op praktische verbetering gericht zijn. Als voorbeeld van de vele auteurs die een dergelijke verruiming hebben bepleit kan gedacht worden aan Van Strien (1986), die ter onderscheiding van de 'empirische cyclus' een 'regulatieve cyclus' introduceerde, waarin eveneens sprake is van het toetsen van hypothesen.

⁹ Een dergelijk voorstelling wordt dikwijls aangeduid als 'conceptueel model'. Deze aanduiding wordt hier vermeden omdat deze een voortijdige aanname omtrent het karakter van de samenhang kan suggereren. 'Conceptuele modellen' impliceren veelal de aanname dat het gezochte verband een causaal karakter heeft en in variabelentaal beschreven kan worden. Om een voortijdige inperking tot dergelijke verbanden te vermijden worden hier de uitdrukkingen 'conceptuele voorstelling' of 'conceptueel kader' gebruikt.

vervolgens gebruikt worden om onderdelen of aspecten van de voorstellingen, en de voorstellingen als geheel, te verfijnen, te vervangen, aan te vullen of uit te breiden, kortom: in allerlei opzichten te verbeteren.

Figuur 1



Het onderzoek dat in deze studie aan de orde is beperkt zich tot de conceptuele voorbereiding van uiteindelijk beoogd toetsend onderzoek. Daarom kan dit onderzoek getypeerd worden als *exploratief- of verkennend onderzoek*.

Een dergelijk verkenning heeft van nature het karakter van een iteratief of circulair, niet-lineair proces. Een passende metafoor daarvoor is het zoeken van een weg door een terrein vol hindernissen, valkuilen en doodlopende wegen. Wanneer er eenmaal een weg gevonden is kan deze in principe 'lineair' beschreven worden. Een gebruiker van de uiteindelijke routebeschrijving moet ook niet lastig gevallen worden met alle omwegen en doodlopende wegen die de verkenner heeft gevolgd. Aan de andere kant is de gevonden weg niet de enige, en niet (voor iedereen) de 'beste weg'. Het gedicht, dat als motto aan dit hoofdstuk is meegegeven, brengt tot uitdrukking dat er door de verkenner bij allerlei kruisingen van wegen *een* weg gekozen moest worden. Die keuzes zijn soms beargumenteerd, maar soms ook gebaseerd op beperkte mogelijkheden van de verkenner, en in veel gevallen zonder dat alle consequenties voorzien konden worden. Bovendien is het terrein aan veranderingen onderhevig. Daarom is het een goede zaak wanneer gebruikers alsnog afslagen ('roads not taken') zullen verkennen waar mijn verkenning aan voorbij gegaan is. Daarom is het wellicht ook goed dat in de hierna volgende 'routebeschrijvingen' niet alle sporen van het zoekproces gewist zijn.

Daarnaast kan dit onderzoek ook getypeerd worden als *ontwerpgericht onderzoek*. Het onderzoekend ontwerpen van *een* voorstelling van het verband, dat aangenomen wordt in het eerste deel van de werkhypothese, kan beschouwd worden als het onderzoekend ontwerpen van een symbolische constructie. Het ontwerpen van *mogelijkheden* voor een opleiding van schoolleiders, om hun voordeel te doen met de kennis van vernoemd verband, kan gezien worden als het ontwerpen van *een* interventie¹⁰. Naast de overeenkomst, dat ook de onderzoeken die gewoonlijk tot deze categorie gerekend worden zich kenmerken door niet-lineaire processen, is een andere overeenkomst dat men al tevreden moet zijn wanneer *een* prototype (*een* weg door het terrein) gerealiseerd is.

¹⁰ Zoals het ontwerpgerichte onderzoek dat, ten behoeve van toepassingen in het onderwijs, uitvoerig beschreven is in (van den Akker, Branch, Gustafson, Nieveen, & Plomp, 1999).

5 INPERKING EN BEPERKING

Naast de al genoemde inperking tot verkenning, is het onderzoek ook ingeperkt tot de ondersteuning van vorming, die het onderwijs in de exacte schoolvakken kan bieden. En, bij die ondersteuning ligt het accent primair op de *inhoud* van die schoolvakken, en pas in verband daarmee op ondersteunende werkvormen en omgangsvormen die algemener van toepassing zijn.

Deze inperking en accentuering hangen samen met een wending in denkbeelden over vorming in mijn eigen ontwikkeling. Zoals zovelen ging ik er als jonge leraar wis- en natuurkunde vanuit dat het onderwijs in deze vakken vanuit de inhoud nauwelijks aan vorming kon bijdragen. Vorming associeerde ik inhoudelijk met thema's die de grenzen van mijn vakken ver overschreden, zoals thema's uit de sferen van 'mondiale vorming' of van 'vredesopvoeding'. Daarnaast werd vorming geassocieerd met niet-vakgebonden onderwijsvormen en werkvormen, zoals projectonderwijs of groepsonderwijs. En, voor zover ook schoolvakken met vorming geassocieerd konden worden, kwamen de expressievakken, en vakken zoals filosofie en levensbeschouwing, veel eerder in beeld dan de exacte vakken.

Pas later, en onder de invloed van inspirerende vragen van leerlingen¹¹, groeide het besef dat exacte vakken ook *inhoudelijk* aan de vorming van leerlingen kunnen bijdragen. Wanneer men echter de vorming-ondersteunende potentie van exacte vakken tot zijn recht wil laten komen, dan vraagt dit zowel om specifieke inhoudelijke accenten, als om werk- en omgangsvormen die daarmee hand in hand gaan. Deze studie beoogt om zowel beargumenteerde voorstellingen omtrent die inhoudelijke accenten als omtrent die werk- en omgangsvormen op te leveren. En om, in vervolg daarop, voorstellingen te vormen van de ondersteuning die een schoolleider kan bieden, en om tenslotte voorstellingen te vormen van de bijdragen die tot de taak van een opleiding van schoolleiders gerekend kunnen worden.

Hierboven werd al genoemd dat onderzoekers-ontwerpers een prototype ontwikkelen op basis van het beperkte arsenaal aan middelen en mogelijkheden dat hen ter beschikking staat. Een nader te noemen aspect daarvan is de beperking dat mijn expertise vooral ligt op het gebied van voortgezet onderwijs. In deze studie kan daarom in mindere mate recht gedaan worden aan de ondersteuning die primair onderwijs in exacte vakken aan de vorming van leerlingen kan bieden.

¹¹ Zie deel III, hoofdstuk 14, § 1.

6 LEESWIJZER EN LEZERSPUBLIEK

De opbouw van deze studie volgt niet alleen logisch uit de werkhypothese, maar resulteert ook uit de beginsituatie van waaruit zij ondernomen is. Deze studie werd ondernomen na een loopbaan in het onderwijs. Ook in die loopbaan werden al keuzes gemaakt, waarbij sommige afslagen wel en andere niet genomen werden. Het startpunt van de verkenning is een eindpunt van een voorafgaande route. In de termen van een bergexpeditie: deze studie begint vanuit een 'basiskamp', en heeft de ambitie om van daaruit enkele 'toppen' te bereiken. De eerste taak die vervuld moet worden is het meenemen van de lezers naar dit 'uitgangspunt'¹².

6.a Globale opbouw

Deel I is daarom gewijd aan het ontwikkelen van de vraagstelling van het onderzoek, en aan het nader bepalen van centrale concepten. Daarnaast worden in hoofdstuk 2 eerste verkenningen ondernomen, die leiden tot het identificeren van cruciale problemen, en tot het detailleren van onderzoeksvragen. Tenslotte worden in hoofdstuk 3 de uitgangspunten van de filosofische reflectie op wetenschap, de samenhang van deze uitgangspunten met levensbeschouwelijke en pedagogische positiekeuzes, en de methodische richtlijnen voor de verkenningen verantwoord.

De delen II en III worden vervolgens besteed aan de verkenningen die voortvloeien uit het eerste deel van de werkhypothese (het verband tussen leiderschap en kansen op vorming voor leerlingen). Daarbij concentreert deel II zich op het verband tussen leiderschap en vorming in de context van wiskunde onderwijs, en deel III concentreert zich op het verband tussen leiderschap en vorming in de context van onderwijs in schei- en natuurkunde.

Deel IV komt op grond van de opbrengst van de delen II en III uit bij een reactie op het tweede deel van de werkhypothese (hoe opleidingen met de kennis van dit verband hun voordeel kunnen doen). Bij de verkenningen van de delen II en III zal bovendien blijken dat inhoudelijke en pedagogische kwaliteiten van leraren exacte vakken tot de cruciale voorwaarden behoren voor de mogelijkheden van schoolleiders om vorm en inhoud te geven aan pedagogisch leiderschap. Daarom zal hoofdstuk 18 van deel IV niet alleen resulteren in een visie op mogelijkheden voor opleidingen van schoolleiders, maar ook in een visie op mogelijkheden voor lerarenopleidingen (met name exacte vakken). Tenslotte zal in hoofdstuk 19 het gehele onderzoek worden afgerond met een samenvatting van de opbrengsten in het licht van de onderzoeksvragen, met een kritische discussie van opbrengsten en uitgangspunten, en met suggesties voor verbetertrajecten en voor vervolgonderzoek.

¹² Ook dit 'uitgangspunt' is vanzelfsprekend voor verbetering vatbaar. Daarom zal in hoofdstuk 19, § 2, een kritische reflectie ondernomen worden op verschillende elementen daarvan.

6.b Lezerspubliek

Omdat de verkenningen door verschillende terreinen voeren is deze rapportage gericht op de verschillende groepen lezers die in deze terreinen geïnteresseerd zijn, hetzij als werkterrein, als onderzoeksterrein, of als terrein van algemene interesse. Tot het lezerspubliek reken ik daarom:

- opleiders van schoolleiders en opleiders van leraren (met name exacte vakken),
- academische- en praktijk-onderzoekers op de gebieden van onderwijs, vorming, pedagogie en agologie,
- filosofische onderzoekers op het gebied van wetenschapsfilosofie in de breedste zin (inclusief vertakkingen naar fenomenologie, antropologie en cultuurfilosofie),
- schoolleiders en leraren (met name exacte vakken),
- en overige belangstellenden.

Vele gesprekken met vertegenwoordigers van al deze groepen hebben deel uitgemaakt van het onderzoeksproces. In de eerste plaats noem ik hier de (oud-)collega's die jarenlang concepten meelazen en bespraken (opleiders, onderzoekers, schoolleiders, en andere professionals). Aan hen heb ik veel te danken. Niet alleen een rijke oogst aan inhoudelijke ideeën en suggesties, maar ook een rijke oogst aan bijsturing om in gesprek te blijven met de groepen die zij vertegenwoordigden. Daarnaast waren gesprekken met de academische begeleiders van mijn onderzoek van groot belang om de wetenschappelijke 'communities' niet uit het oog te verliezen.

Tenslotte bleken niet alleen gesprekken met 'kritische vrienden' maar ook discussies met 'kritische tegenstanders' van groot belang. Deze laatste discussies maakten duidelijk dat het niet mogelijk is om met iedereen tot overeenstemming te komen. Sommige verschillen in opvattingen blijken te berusten op verschillen in fundamentele keuzes. Om discussies, waarin dergelijke verschillen een rol spelen, zuiver te houden moeten in de eerste plaats de fundamentele keuzes duidelijk zijn waar een spreker van uitgaat. In de tweede plaats moet voorkomen worden dat consequenties van deze keuzes afgewenteld kunnen worden op onjuiste informatie of misinterpretatie. Vooral dit laatste heeft in de delen II en III in verschillende hoofdstukken tot een mate van uitvoerigheid en grondigheid geleid die sommige lezers wel aanspreekt, maar voor anderen overbodig is.

6.c Leeswijzers

Om aan deze verschillen tegemoet te komen zal ieder hoofdstuk uit de delen II en III beginnen met een korte inhoudsbeschrijving, zodat lezers kunnen besluiten om sommige gedeeltes over te slaan, en zich op de gedeeltes te concentreren die voor hen interessant zijn.

Daarnaast zal ieder deel beginnen met een korte inleiding waarin aangekondigd wordt hoe het deel is opgebouwd, en waar de samenvattingen te vinden zijn.

7 VERVOLG

In het kader van dit verkennende en ontwerpende onderzoek zullen in het volgende hoofdstuk de volgende stappen gezet worden:

- het formuleren van vraagstellingen,
- het uitvoeren van een eerste verkenning van centrale concepten,
- het formuleren van de belangrijkste problemen die door het onderzoek opgelost moeten worden,
- het geven van een globaal overzicht van de volgorde waarin de vraagstellingen beantwoord en de problemen opgelost zullen worden.

HOOFDSTUK 2

Vraagstelling, concepten, problemen

De eerste stap, die aan het einde van het vorige hoofdstuk werd aangekondigd, was het formuleren van een vraagstelling. Deze vraagstelling moet uiteraard in duidelijk verband staan met de doelstelling (pagina 17) en de werkhypothese (pagina 20) die al geformuleerd werden.

1 VAN WERKHYPOTHESE NAAR VRAAGSTELLING

Om tot een vraagstelling te komen sluit ik nu eerst aan bij de werkhypothese:

1. *Het is mijn aanname dat er verband bestaat tussen enerzijds de ondersteuning die het schoolleven biedt bij de vorming van leerlingen, en anderzijds kenmerken van het leiderschap van de schoolleiding.*
2. *Het is ook mijn aanname dat opleidingen voor schoolleiders met de kennis van dit verband hun voordeel kunnen doen.*

Bij nader inzien hebben deze twee aannames een curieuze relatie. Wanneer er inderdaad een relatie bestaat tussen het leiderschap dat een schoolleider in zijn¹³ school laat zien, en de vorming van leerlingen, dan kan men zich vervolgens afvragen hoe een opleiding daar verbetering in kan brengen. In een schoolexterne opleiding zijn geen leerlingen aanwezig, is de schoolleider ontslagen van zijn leidinggevende verantwoordelijkheid, en kan de voornoemde relatie dus ook niet onderzocht, getoetst en door oefening verbeterd worden. *Hoe kan men zich dan voorstellen dat de leeropbrengst die de schoolleider in een opleiding opdoet bijdraagt aan verbetering van zijn pedagogisch leiderschap in zijn school?*

Deze vraag wordt in de literatuur veelal benoemd als 'het transferprobleem'. Dit probleem is, binnen allerlei verschillende contexten, uitvoerig onderzocht en bediscussieerd omdat het een veel lastiger probleem is dan men aanvankelijk zou kunnen denken. Een eerste gedachte is, dat dit probleem eisen stelt aan de kwaliteit van de leerprocessen binnen een opleiding. Deelnemers moeten in een opleiding niet alleen reproductief leren, maar moeten, op een hoger niveau, inzichten en vaardigheden creatief leren toepassen in andere contexten dan waarin zij deze hebben opgedaan¹⁴. Ervaring en onder-

¹³ Een dergelijk 'zijn' moet begrepen worden als 'zijn/haar'. In deze studie volg ik de conventie om 'zijn' of 'hij' te gebruiken wanneer de referent taalkundig een mannelijk woord is. Vrouwelijke leiders, leraren, et cetera zijn vanzelfsprekend inbegrepen in dergelijk 'zijn' of 'hij'.

¹⁴ Volgens de bekende taxonomie van Bloom (SLO, 2013).

zoek leren echter dat het voldoen aan deze eis wel belangrijk, maar zeker niet voldoende is. Ook al hebben deelnemers aan een opleiding op dit hogere niveau inzichten en vaardigheden opgedaan, dan nog komt het vaak voor dat de nieuw opgedane patronen van denken en doen niet 'aanslaan' in de werkomgeving, niet tot bloei komen of vruchtbaar worden, maar uitsterven.

Een benadering die ingaat op deze extra moeilijkheid, is de activiteitstheorie van Engeström¹⁵. Met behulp van deze theorie worden organisaties, zoals een opleiding of een school, beschreven als 'activiteitssystemen', die verschillende doelstellingen en subculturen belichamen. Individuen die in beide omgevingen fungeren worden getypeerd als grensgangers. Het transferprobleem komt zo gezien neer op de vraag, onder welke condities 'stekjes' die grensgangers van de ene omgeving naar de andere overbrengen in die nieuwe omgeving kunnen 'aanslaan' en kunnen bijdragen aan vernieuwing. Een belangrijke hypothese houdt in, dat de interactie tussen verschillende activiteitssystemen, een niveau van leren kan bewerkstelligen dat verder gaat dan het leren dat binnen de grenzen van een geconsolideerd systeem mogelijk is. Dat niveau van leren heet: expansief leren. De vraag of dit expansieve leren ook werkelijk opbloeit is afhankelijk van een aantal condities die men, met gebruikmaking van de activiteitstheorie, via onderzoek en experiment probeert te identificeren. Als voorbeelden van condities die uit dergelijk onderzoek geconcludeerd werden, noem ik hier enkele uitkomsten van twee onderzoeken die in mijn nabije omgeving ondernomen werden (Miedema & Stam, 2009; Snoek, 2014). De innovatieve opbrengst van transfer tussen activiteitssystemen bleek afhankelijk te zijn van:

- het wederkerige karakter van de interactie tussen de activiteits-systemen; het grensverkeer moet het karakter hebben van tweerichtingsverkeer; vernieuwende 'stekjes' moeten door grensgangers in beide richtingen overgebracht worden;
- het structurele karakter van grensverkeer; grensoverschrijdingen zijn niet beperkt tot individuele of incidentele gevallen, maar hebben een structureel karakter;
- het fungeren van 'grensobjecten' tussen de systemen, waaraan vanuit verschillende systemen bijgedragen wordt, in het licht van gemeenschappelijke belangen en doelen;
- het afstemmen van de 'strategische agenda's' van de betrokken activiteitssystemen;
- het constructieve gebruik van tegenstellingen, spanningen, conflicten of 'grenservaringen'; deze worden optimaal gebruikt als bron voor innovatie;
- et cetera.

In de beide hierboven genoemde onderzoeken staan *docenten* centraal. In het onderzoek van Snoek gaat het om de vraag, hoe bevorderd kan worden dat de ontwikkeling van een

¹⁵ Zie bijvoorbeeld (Engeström, 2001). Engeströms benadering is door meerdere onderzoekers in Nederland nagevolgd en toegepast, met name voor het onderwijs, zie bijvoorbeeld: Miedema en Stam (2009), Akkerman en Bakker (2011) en Snoek (2014).

school zo goed mogelijk profiteert van een opleiding van haar leraren tot Master in 'Professioneel Meesterschap'. Bij de beantwoording van deze vraag concentreert Snoek zich op het 'grensverkeer' en op de samenwerking tussen de activiteitssystemen van school en opleiding. De eerste vier van de hierboven genoemde condities zijn dan ook aan zijn onderzoek ontleend. Van deze condities is het aannemelijk dat deze op vergelijkbare wijze kunnen gelden voor de vraag, hoe bevorderd kan worden dat de ontwikkeling van een school (als vorming-ondersteunende school) zo goed mogelijk profiteert van een opleiding van haar schoolleiders. Voor de constructie van het conceptuele kader, dat het doel is van mijn onderzoek, kan ik voor dit aspect profiteren van Snoeks onderzoek. Met betrekking tot de invloed van grensverkeer en samenwerking tussen activiteitssystemen zal ik daarom nagaan hoe zijn resultaten vertaald kunnen worden naar opleidingen voor schoolleiders die zich richten op pedagogisch leiderschap¹⁶.

Een aspect dat in Snoeks onderzoek nauwelijks aandacht krijgt is de vraag in welke mate *persoonlijke kwaliteiten* van de leraar van invloed zijn op de opbrengst van diens opleiding en op het profijt van zijn school. Op dit punt acht Snoek vervolgonderzoek nodig (2014, pp. 182-183). De laatste hierboven genoemde conditie, ontleend aan het onderzoek van Miedema & Stam, illustreert eveneens het belang van vervolgonderzoek in deze richting. Immers, om gemotiveerd en in staat te zijn om tegenstellingen en conflicten te gebruiken als bron voor innovatie, moet men over specifieke persoonlijke kwaliteiten beschikken. De vraag, hoe een schoolexterne opleiding een bijdrage kan geven aan de ontwikkeling van dergelijke kwaliteiten, blijft echter ook in het onderzoek van Miedema en Stam buiten beschouwing.

Op grond van deze overwegingen concentreert deze studie juist wel de aandacht op de persoonlijke kwaliteiten die van belang zijn voor pedagogisch leiderschap, en op de vraag, of en hoe een schoolexterne opleiding aan de ontwikkeling van die kwaliteiten een bijdrage kan geven.

Om deze focus van mijn studie in een vraagstelling te vertalen zal ik gebruik maken van het onderscheid tussen (zuiver) *functionele kenmerken* en *identiteitskenmerken*. Om dit onderscheid toe te lichten neem ik het hierboven genoemde constructieve omgaan met tegenstellingen en conflicten als voorbeeld. Men kan zich voorstellen dat een opleiding, die de ontwikkeling van deze persoonlijke kwaliteit serieus neemt, plaats inruimt voor reflectie op conflicten, en training van conflicthantering. Een deelnemer, die afkomstig is uit een school met een conflict-vermijdende cultuur, kan in principe deze training volgezaam volgen, maar tegelijk zijn reserve en twijfels 'innerlijk' handhaven. Om zijn opleiding met succes te kunnen voltooien neemt hij, als een kameleon, tijdelijk de ideologische kleur aan van de opleidingsomgeving. Wanneer deze deelnemer in zijn eigen school, opnieuw braaf, toch iets van het geleerde in de opleiding wil toepassen, zal hij niet opgewassen zijn tegen de weerstand die dit 'stekje' in de nieuwe omgeving oproept.

¹⁶ In deel IV, hoofdstuk 18, § 1.b, zal deze 'vertaling' uitgevoerd worden.

Wanneer zijn collega's stellen dat zij er geen zin in hebben om als proefkonijn te dienen voor kunstjes die hij in zijn opleiding geleerd heeft, dan zal hij snel inbinden en toegeven dat hij ook wel weet dat conflicten alleen maar onheil kunnen brengen. Als een kameleon neemt hij opnieuw de kleur aan van de omgeving waarin hij nu verkeert.

Een andere deelnemer, eveneens afkomstig uit een school met een conflict-vermijdende cultuur, kan om te beginnen al anders op het trainingsaanbod in de opleiding reageren. Hij kan zijn reserves en twijfels naar buiten brengen, en stellen dat het voor hem geen zin heeft om aan een training deel te nemen waar hij toch niet in gelooft, en die in zijn school zeker niet zal werken. Dit verzet kan vervolgens intensieve discussie en andere reacties oproepen. Wanneer die interacties goed verlopen, dan bestaat de mogelijkheid dat deze deelnemer zich er enigszins voor openstelt dat anderen positievere ervaringen hebben opgedaan met conflicten dan hijzelf, en dat dit wellicht ook verband houdt met beperkingen die de cultuur van zijn school oplegt. Die eerste openheid kan ertoe leiden dat de training voor hem als een 'eye-opener' fungeert en hij ontdekt dat (onder bepaalde condities) conflicten werkelijk tot constructieve resultaten kunnen leiden. Wanneer hij in zijn eigen school dezelfde weerstand ontmoet als de schoolleider van het vorige voorbeeld, dan zal hij reageren, dat de nieuwe benadering die hij geleerd heeft voor hem veel meer betekent dan alleen maar een 'kunstje'. Deze deelnemer zal met veel meer volharding dan de vorige deelnemer blijven proberen om dit nieuwe 'stekje' in zijn werkomgeving te laten 'aanslaan'. Zijn collega's zullen ervaren dat hij in zijn volharding geen spreekbuis is van anderen, en dat het ook niet voortkomt uit een 'moeten' dat hem door anderen is opgelegd, maar dat hij kennelijk *zelf* zulke ingrijpende ervaringen heeft opgedaan dat hij het heersende geloof van de school niet meer kan delen.

Het verschil tussen deze twee voorbeelden kan gekarakteriseerd worden door het leren uit het tweede voorbeeld te benoemen als 'leren op *identiteitsniveau*'. Enkele opmerkingen daarbij:

- Een belangrijk verschil aan het begin van het tweede voorbeeld is al, dat deze deelnemer een persoonlijk toegeëigend cultuurelement van zijn eigen school niet achterhoudt, maar inbrengt. Ook al verwacht hij dat dit 'stekje' moeilijk inpasbaar zal zijn in de opleidingsideologie, brengt hij het toch in. Het vermoeden ligt voor de hand, dat het voor het uiteindelijke effect (dat hij zich open stelt) belangrijk is, dat dit 'stekje' in de opleidingsomgeving een passende erkenning krijgt.
- Het voldoen aan deze voorwaarde van identiteitsleren zal op-zichzelf ook niet voldoende zijn. Alleen op grond daarvan is het nog niet zeker, of de volhardende schoolleider uit het tweede voorbeeld er ook in zal slagen om het 'stekje' van de andere conflicthantering in zijn werkomgeving te laten 'aanslaan'. Daarvoor zijn waarschijnlijk de voorwaarden die Snoeks onderzoek aan het licht bracht evenzeer van belang.

Met 'identiteit' heb ik nu een term geïntroduceerd die in verschillende betekenissen gebruikt wordt. Omdat ik deze term voor mijn onderzoek wil gebruiken moet ik de betekenis die ik er hier aan wil verbinden nader bepalen.

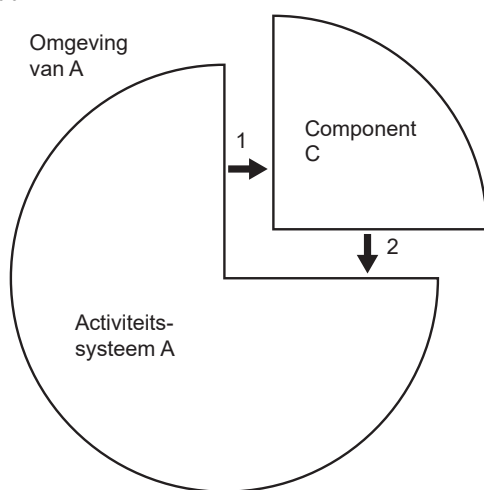
Daarbij gebruik ik om te beginnen een schema (figuur 2) dat ontleend is aan het werk van een theoretische bioloog¹⁷. Zijn schema, dat afkomstig is uit de context van een betoog over organisaties in de meest algemene betekenis, pas ik nu toe op de hierboven genoemde activiteitssystemen.

Activiteitssysteem A is een voorbeeld van een georganiseerd systeem, dat functies vervult in de omgeving van A.

Deze organisatie bestaat uit componenten C die binnen A deelfuncties vervullen. De manier waarop die deelfuncties gekoppeld zijn en zodanig op elkaar inspelen dat al die deelfuncties verenigd worden tot het functioneren van het geheel, dat is precies 'het georganiseerde' van een organisatie.

Wanneer activiteitssysteem A nu een opleiding voor schoolleiders voorstelt, dan kan component C een schoolleider voorstellen die, als 'deelnemer' binnen deze organisatie, deelfuncties¹⁸ vervult. De pijlen 1 en 2 geven aan dat deze component (i.c. de schoolleider) binnen het systeem invloed ondergaat en invloed uitoefent. De deelfunctie die C binnen A vervult kan gelijk gesteld worden aan de manier waarop C op ondergane invloed (pijl 1) reageert met uitgeoefende invloed (pijl 2).

Figuur 2



Op grond van deze voorstelling van zaken kan nu onderscheiden worden tussen twee soorten kenmerken van C.

De *functionele kenmerken* van C zijn de kenmerken die uitsluitend in het licht van het functioneren van C binnen A benoemd en begrepen kunnen worden. Het zijn kenmerken

¹⁷ Robert Rosen (1991, pp. 122-123).

¹⁸ Tot deze deelfuncties behoren niet alleen de positieve bijdragen die C aan het functioneren van het geheel levert, maar ook de storende of schadelijke bijdragen.

die niet meer aan C toegekend kunnen worden wanneer men C uit systeem A weghaalt, of C (in gedachten) los van A beschouwt. Bijvoorbeeld: wanneer men zegt "C is schoolleider" dan is het functioneren binnen organisaties voorondersteld. Men kan alleen 'leider' zijn binnen organisaties waarin 'leidinggeven' als deelfunctie bestaat, en men kan alleen 'schoolleider' zijn binnen een deelcategorie van die organisaties, namelijk: scholen. Het is gemakkelijk na te gaan dat ditzelfde geldt voor vele andere kenmerken die men aan personen kan toekennen. 'Gespreksleider', 'secretaris', 'moeder', 'leerling', 'winkelier', ..., zijn allen voorbeelden van kenmerken die het functioneren in een specifiek activiteitssysteem vooronderstellen, en die daarom behoren tot de categorie van functionele kenmerken.

De *identiteitskenmerken* van C zijn daarentegen kenmerken die aan C toegekend kunnen worden, onafhankelijk van zijn functioneren in een bepaald activiteitssysteem. Het zijn de kenmerken die C altijd met zich 'meedraagt' (als een soort 'bagage'), onafhankelijk van de vraag in welk systeem A hij functioneert. 'Leeftijd', 'gewicht' en 'geslacht' zijn vanzelfsprekende voorbeelden van deze kenmerken.

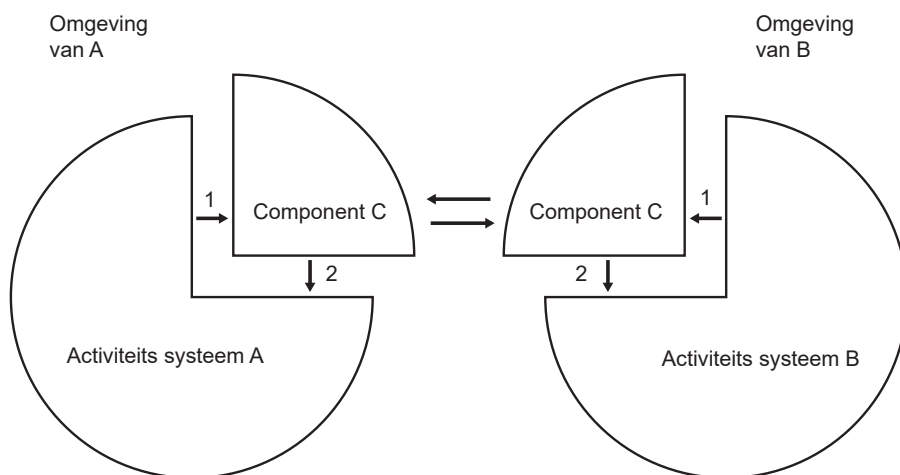
De voorbeelden op de vorige pagina illustreren dat er verband kan bestaan tussen de twee soorten van kenmerken. Beide schoolleiders illustreren dat het functioneren binnen een conflict-vermijdend activiteitssysteem (of sterker: binnen meerdere conflict-vermijdende systemen) als gevolg kan hebben dat bij de persoon in kwestie de overtuiging ontstaat dat conflicten altijd en overal alleen maar onheil kunnen brengen. Het functioneren binnen één (of meerdere) systemen kan dus het ontstaan bewerkstelligen van een identiteitskenmerk (i.c. een overtuiging) die deze persoon altijd met zich 'meedraagt' onafhankelijk van het activiteitssysteem waarbinnen hij functioneert. En, binnen die systemen heeft dit identiteitskenmerk uiteraard weer invloed op de manier waarop hij aldaar vormgeeft aan zijn functionele kenmerken. De schoolleider uit het eerste voorbeeld illustreert dat het functioneren binnen zijn school ook een leerproces op identiteitsniveau heeft bewerkstelligd: hij heeft geleerd dat conflicten altijd en overal alleen maar onheil kunnen brengen.

De schoolleider uit het tweede voorbeeld heeft op identiteitsniveau ditzelfde geleerd, maar blijkt bereid om zijn identiteitskenmerk in te brengen als element van zijn functioneren binnen de opleiding. Met die bereidheid opent hij de mogelijkheid dat zijn functioneren binnen de opleiding ook invloed heeft op dit element van zijn identiteit. Hij leert zodoende om op identiteitsniveau de generalisering van zijn oude overtuiging op te

geven, en zijn overtuiging te verrijken met nuances. Hij brengt zodoende een deel van de 'bagage', die hij altijd met zich meedraagt, in ontwikkeling¹⁹.

'Identiteit' zal ik in deze studie dus opvatten als het geheel van alle kenmerken die onafhankelijk zijn van het functioneren van een persoon in een specifiek activiteitssysteem, zodat hij deze kenmerken meeneemt wanneer hij de grenzen tussen activiteitssystemen overschrijdt.

Figuur 3



Dit concept van 'identiteit' verschilt van wat men bij andere, meer gangbare definities daaronder verstaat²⁰. Daarom zal ik hier, voor de volledigheid, enkele aanvullende voorbeelden geven van kenmerken die volgens deze definitie tot 'identiteit' behoren:

- Kenmerken die (betrekkelijk) onveranderlijk zijn, zoals de al eerder genoemde kenmerken 'leeftijd', 'gewicht' en 'geslacht'.
- Maar ook 'persoonlijkheidskenmerken', zoals die welke men met behulp van de 'Big Five' probeert te meten²¹.

¹⁹ Een persoon die zich op dit niveau heeft ontwikkeld zal dan ook in verschillende activiteitssystemen van die ontwikkeling profiteren. Hij zal bijvoorbeeld ook in zijn gezin of vriendenkring conflicten niet langer categorisch vermijden, maar ook daar zoeken naar mogelijkheden om conflicten constructief te maken. En, de ervaring dát men in verschillende systemen daarvan kan profiteren versterkt van de weeromstuit ook die ontwikkeling weer.

²⁰ Bij ontwikkelingspsychologische benaderingen van 'identiteit' staan bijvoorbeeld vragen naar kenmerken waarmee een mens zich 'identificeert' centraal. In het geval van deze studie staat de vraag centraal of kenmerken van een persoon al dan niet contextafhankelijk zijn.

²¹ Zie (Hendriks, 1997; Hendriks, Hofstee, & de Raad, 1999).

- De door Ofman in 1992 geïntroduceerde 'kernkwaliteiten'²².
- Kenmerken die wel veranderlijk zijn, zoals de 'bagage' van inzichten en vaardigheden die een persoon zich zodanig heeft toegeëigend dat hij deze in allerlei verschillende contexten kan toepassen.
- De stereotypen, vooroordelen en 'blinde vlekken' die deze persoon in allerlei verschillende situaties parten spelen.
- De ervaringen, herinneringen en verhalen die de persoon in de ene context opdoet en 'opslaat', maar die deze ook in andere contexten in het spel brengt.
- De angsten, neurosen of trauma's die de persoon in een specifieke context heeft opgedaan, maar die ook in andere contexten kunnen opspelen.
- Commitments met waarden waar de betrokken persoon zijn handelen in al zijn contexten op oriënteert²³.
- Et cetera.

Dit concept van identiteit stelt mij nu in staat om de vraagstelling voor mijn onderzoek als volgt te formuleren:

Hoe kan men zich voorstellen, dat het functioneren van een schoolleider als deelnemer binnen een opleiding een zodanige invloed heeft op zijn identiteitskenmerken, dat hij in zijn school beter gaat functioneren als pedagogisch leider ten aanzien van het onderwijs in de exacte vakken?

Deze vraagstelling kan onderverdeeld worden in twee deelvragen:

- a. Welke identiteitskenmerken kunnen er aan bijdragen dat een schoolleider in zijn school goed (en beter) functioneert als pedagogisch leider, ten aanzien van het onderwijs in de exacte vakken?
- b. Hoe kan men zich voorstellen dat het functioneren van een schoolleider als deelnemer van een opleiding, bijdraagt aan de ontwikkeling van de in antwoord op de eerste vraag gevonden identiteitskenmerken?

2 RELATIE TUSSEN DOELSTELLING EN VRAAGSTELLING

De doelstelling van deze studie luidt (pagina 17):

²² Zie (Ofman, 1996). Sindsdien in bredere kring gebruikt, zoals bijvoorbeeld beschreven in *Leren van binnenuit* (Korthagen & Lagerwerf, 2008, p. 59 e.v.).

²³ Denk aan het veel gebruikte 'ui-model' zoals bijvoorbeeld uiteengezet in (Korthagen & Lagerwerf, 2008, pp. 92-94). De binnenste laag van de 'ui' (betrokkenheid op waarden) heeft duidelijk betrekking op een context-onafhankelijke kenmerk.

het leveren van een bijdrage aan verbetering van schoolleiders-opleidingen, waarbij deze verbetering met name gericht is op de ontwikkeling van pedagogisch leiderschap bij de betrokken schoolleiders.

De relatie tussen deze doelstelling en de zojuist geformuleerde vraagstelling zal ik verduidelijken door het beantwoorden van drie vragen:

- a. Welke bijdrage wil ik *door middel van onderzoek* aan de beoogde verbetering van schoolleidersopleidingen geven?
- b. Wat is dan het *voorwerp van onderzoek* waar ik meer van wil weten?
- c. *Wat* wil ik daarvan te weten komen?

2.a Bijdrage van onderzoek

Onderzoek kan getypeerd worden als onderneming die conceptuele voorstellingen van samenhangen ontwikkelt en verbetert (door middel van toetsing). Mijn onderzoek beperkt zich tot het ontwikkelen van voorstellingen. Wel met de bedoeling dat deze voorstellingen in het vervolg, zoveel mogelijk, verbetering door toetsing zullen toelaten.

Met inachtneming van de beperking tot de bijdrage van onderwijs in exacte schoolvakken betreffen de ontwikkelde voorstellingen:

- de kansen op vorming die onderwijs in exacte vakken kan bieden,
- de wijze waarop leraren in exacte vakken de vorming van leerlingen kunnen ondersteunen,
- de wijze waarop schoolleiders deze leraren daarin kunnen ondersteunen, en met deze leraren daaraan kunnen samenwerken,
- de ondersteuning die een opleiding kan bieden om schoolleiders te bekwamen en te motiveren om voornoemde ondersteuning en samenwerking te verbeteren.

2.b Voorwerp van onderzoek

De identiteitskenmerken van een schoolleider, als pedagogisch leider ten aanzien van het onderwijs in exacte vakken, vormen het centrale voorwerp van onderzoek.

2.c Wat wil ik daarvan te weten komen?

Van dit voorwerp van onderzoek wil ik te weten komen:

- welke kenmerken het zijn,
- hoe men zich de samenhang tussen deze kenmerken en de kansen op vorming voor leerlingen kan voorstellen,
- hoe deze kenmerken als identiteitskenmerken ontwikkelbaar zijn in de context van een opleiding.

3 NADERE BEPALING VAN CENTRALE CONCEPTEN

Als eerste stap in het verkennend onderzoek, ofwel het ontwikkelen van een conceptueel kader, zal ik nu een aantal (reeds gebruikte) centrale concepten nader bepalen. Deze concepten zijn:

- vorming,
- ondersteuning,
- pedagogisch leiderschap.

Daarbij zal het begrip 'vorming' een algemene, wijsgerig antropologische betekenis toegekend krijgen:

- leren om niet alleen schepsel maar ook schepper van cultuur te zijn, en
- leren van zingevende (inspirerende) ervaringen.

De begrippen 'ondersteuning' en 'pedagogisch leiderschap' zullen meer specifiek op onderwijs gerichte betekenissen toegekend krijgen, vanuit de vragen:

- hoe kan bevorderd worden dat leerlingen op een school zingevende ervaringen opdoen (geïnspireerd worden), en
- hoe kan het leren van zingevende (inspirerende) ervaringen verder bevorderd worden, indien leerlingen eenmaal dergelijke ervaringen op school opdoen?

Op deze wijze wordt een eerste vorm gegeven aan een conceptueel kader dat later in deze studie als 'bril' gebruikt kan worden, om te gaan zien hoe de vraagstelling van deze studie beantwoord kan worden, voor het specifieke geval van het onderwijs in exacte vakken.

3.a Vorming

Zoals ik hiervoor al aankondigde (pagina 19) sluit deze studie aan bij Biesta's driedeling in doelen of functies van onderwijs. In Biesta's termen luidt deze driedeling *kwalificatie*, *socialisatie* en *subjectificatie* (2011; 2012); in de termen van deze studie luidt de driedeling: *kwalificatie*, *socialisatie* en *ondersteuning van vorming*. Zowel Dasberg (1993) als Biesta (2011) betogen dat de onderscheiding tussen socialisatie en de 'derde dimensie' extra aandacht verdient. Dit onderscheid gaat immers verloren wanneer men een té cultuurgebonden opvatting van die derde dimensie, in mijn geval van vorming, hanteert. Wanneer men vorming bijvoorbeeld definieert als 'het leren om kritisch en zelfstandig te denken' dan sluit men in sterke mate aan bij de opvattingen over 'autonomie', 'mondigheid' en 'rationele zelfstandigheid' die sinds de Verlichting tot de Europese culturele erfenis behoren. Het inleiden van leerlingen in dit aspect van onze cultuur is dus, minstens voor een belangrijk deel, een vorm van socialiseren. Om het onderscheid helder te houden moet men dus een benadering van vorming vinden die cultuuronafhankelijk is.

Een mooi aanknopingspunt voor een cultuuronafhankelijke opvatting van vorming vond ik in de titel van een boek over wijsgerige antropologie: *De mens als schepper en*

scheysel van cultuur (Landmann, 1961). Deze titel geeft een treffende formulering van een essentiële dynamiek die eigen is aan elke cultuur²⁴.

We zijn enerzijds in alle manieren waarop we vormgeven aan ons individuele en sociale leven zelf *gevormd* door de cultuur waarin we zijn opgevoed en opgegroeid. We kunnen niet leven of overleven zonder de omvangrijke 'bagage' die onze cultuur ons meegeeft. Een bagage die bestaat uit talen, gewoonten, rituelen, technologie, gedragsregels, normen, houdingen, kennis op allerlei gebied, vaardigheden, organisatievormen van werk, van scholing en van recreatie, en wat niet al meer. Cultuur is bovendien veel meer dan een passieve bagage. Cultuur is een vitaal historisch, maatschappelijk en sociaal doorgaand proces dat ons draagt en voedt. Tot in alle vezels van ons bestaan zijn wij door onze cultuur bepaald. Daarom is het passend om te zeggen dat wij een creatie zijn van de cultuur die ons voortbrengt.

Aan de andere kant is die cultuur ook een vitaal proces dat ons voortdurend uitdaagt en uitnodigt om er zelf een originele bijdrage aan te geven. Een cultuur zou zelfs niet eens een vitaal proces *zijn* wanneer niet vele gemeenschappen en individuen er zulke eigen bijdragen aan zouden geven. Zonder de originele bijdragen van haar deelnemers zou een cultuur een *dode* cultuur zijn. Taalontwikkeling is daar een aspect en een voorbeeld van. Een levende taal blijft onder invloed van de taalvondsten van haar gebruikers in alle opzichten in ontwikkeling: qua alfabet, qua vocabulaire, qua grammatica, qua uitspraak, et cetera. Alleen een dode taal is een taal waarvan definitief een alfabet, een vocabulaire en een grammatica vastgesteld kunnen worden²⁵. Daarom is het ook passend om te zeggen dat wij mensen scheppers van cultuur zijn.

Het onderwijs is één van de voorbeelden van deze dynamiek van gecreëerd-worden en creëren. Aan de ene kant oefent de school veel invloed uit die erop gericht is om leerlingen te voeden en te vormen naar beelden die maatschappelijk wenselijk en nuttig geacht worden. Zodoende levert het onderwijs (in haar socialiserende rol) een bijdrage aan de creatie van een nieuwe generatie die de bestaande maatschappij en cultuur kan en wil voortzetten.

Aan de andere kant nodigt het schoolleven leerlingen ook uit (bedoeld en onbedoeld) om meer te zijn dan alleen een verlengstuk van de bestaande maatschappij en

²⁴ Door de keuze van dit uitgangspunt verschilt mijn benadering, van de onderscheiding tussen socialisatie en de 'derde dimensie', van Biesta's benadering. Biesta sluit daarvoor aan bij beschouwingen van Arendt en Levinas (2011; 2012). Op dit punt is mijn benadering meer verwant aan Dasbergs benadering.

²⁵ Over deze dynamiek (of dialektiek) tussen mens en cultuur valt veel meer te zeggen. Landmann gaat bijvoorbeeld uit van een cultuuropvatting die later in deze studie (deel III) kritisch ter discussie gesteld zal worden: cultuur omvat alle vrije vormgevingen van het menselijke bestaan die niet natuurnoodzakelijk bepaald zijn (1966, p. 187). Het valt ook op dat hij in *Filosofische Anthropologie* de dynamiek beschrijft als: "de mens als *schepper* van de cultuur" tegenover "de mens als *produkt* van de cultuur" (1966, pp. 171-204).

cultuur, en om op creatieve en originele manieren eigen vormen te geven aan allerlei ingrediënten die het onderwijs en het schoolleven hen aanbieden²⁶. Met andere woorden: de school biedt aan leerlingen ook een scala aan kansen en mogelijkheden om zich tot creatieve vormgevers te ontwikkelen. En dat is maar goed ook, want zodoende vormt zich een nieuwe generatie die de bestaande maatschappij en cultuur niet alleen kan voortzetten maar ook kan vernieuwen.

Met behulp van het vormingsconcept wil ik mij in deze studie dus op dit laatste concentreren. Zonder ook maar enigszins af te doen aan het belang van het gevormd worden naar beelden die maatschappelijk wenselijk en nuttig geacht worden, wil ik mij nu concentreren op die andere dimensie. Het begrip 'vorming' zal ik daarom gebruiken in de betekenis van: *de ontwikkeling van (jonge) mensen tot en als creatieve vormgevers*. Die ontwikkeling impliceert het samengaan van passief en actief leren. Jezelf ontwikkelen tot en als creatieve vormgever gebeurt gedeeltelijk spontaan, en soms zelfs zonder dat je het merkt, maar het gaat ook niet helemaal vanzelf. Je moet je er ook actief voor inzetten en een permanent leerproces volhouden.

Het vormgevingsproces slaat ook terug op de vormgever. Deze geeft niet alleen vorm aan zaken buiten zichzelf, maar deze geeft tegelijk vorm aan het eigen leven, en aan zichzelf als persoon.

Tenslotte noem ik dat dit begrip van 'vorming' zowel op individuen als op gemeenschappen van toepassing is. Ook een groep, een samenlevingsverband of een organisatie kan zich ontwikkelen tot en als een creatieve vormgever; en ook een collectief kan dat leren.

Voorbeelden van vorming

Het wordt tijd om dit concept van 'vorming' aan de hand van voorbeelden te illustreren. De gekozen voorbeelden komen uit de sfeer van kinderen en leerlingen, en zijn bedoeld om concrete beelden op te roepen van de vorming waaraan ook een opleiding voor schoolleiders kan bijdragen.

Toen mijn vijfjarige kleindochter Nessa uit de basisschool naar huis werd gebracht, zat zij vaak op de achterbank van de auto versjes te zingen. Het begon vaak wel met versjes die zij op school geleerd had, maar zij had er veel plezier in om daar van alles bij te verzinnen. Met lange uithalen en trillers galmde zij melodieën die haar te binnen schoten, en in de woorden die zij zong volgde zij de leukste en de gekste associaties die bij haar opkwamen. Wanneer je dan aan haar vroeg wat zij later wilde worden, dan zei zij: "iets met een microfoon".

²⁶ Het is duidelijk dat sommige scholen dit 'uitnodigen' bewust en beleidsmatig bevorderen, en dat andere scholen het negeren, of zelfs bewust proberen om het zoveel mogelijk tegen te gaan.

Toen mijn negenjarige kleinzoon Stein bij ons op bezoek kwam was zijn eerste vraag: "opa, zullen we weer een krant maken?". Omdat Stein op school moeite heeft met spelling en zinsbouw, had ik hem bij een vorig bezoek het voorstel gedaan om van mijn studeerkamer een redactielokaal te maken, enkele mensen in huis te interviewen, op mijn computer een krant op te maken, en die tenslotte af te drukken en te verspreiden. Dit sloeg heel goed aan. Na een wat moeizaam begin vergat Stein helemaal dat hij eigenlijk een hekel had aan taal en spelling en ging hij vol enthousiasme aan de slag. Hij verzon leuke vragen, interviewde zijn broertjes en andere huisgenoten, verzon daar zelf nog eigen verhalen bij, ging met de computer aan de slag en voegde aan de afdrukken nog eigen tekeningen toe. Hij had veel minder hulp nodig dan ik dacht, en wilde bovendien ook zo veel mogelijk zelf doen. Hij leerde in een hoog tempo en met een hoge intensiteit wat het is, en hoe leuk het is, om zelf een krant te maken.

Toen ik zelf op school zat had ik een leraar wiskunde die mij inspireerde. Vooral in de hoogste klassen vertelde hij regelmatig dat wiskunde weliswaar ook een nuttig vak was, maar dat dit lang niet het belangrijkste was. Het was voor hem veel belangrijker dat wiskunde zo'n mooi vak was. Hij kon dan soms, bijvoorbeeld na het vinden van een elegante oplossing voor een stereometrisch probleem, een paar stappen achteruit zetten en wijzend op het schoolbord tegen ons zeggen "kijk jongens, en meisjes ook, dat is nu waarom wiskunde het mooiste vak is dat er bestaat". Op een bepaald moment begon ik als tiener die schoonheid van wiskunde zelf ook te zien en te waarderen, en het maakte me enthousiast voor dit vak. Ik leerde mijzelf om netter te werken zodat ik dat mooie ook aan mijn eigen producten kon zien. Dit heeft er ongetwijfeld in meegespeeld dat ik na mijn schooltijd besloot om wiskunde en natuurkunde te gaan studeren. De exacte vakken waren mij gaan boeien, en het leek me de moeite waard om mij daarin verder te ontwikkelen. Weer een aantal jaren later stond ik zelf als leraar wiskunde voor de klas, en probeerde ik op mijn beurt, en op mijn manier, om aan een nieuwe generatie leerlingen duidelijk te maken wat het mooie van wiskunde is.

Toen ik zelf leraar werd kwam ik terecht op een MMS, die bij de invoering van de Mammoetwet werd omgezet in een Havo. Het was de tijd van opstandige leerlingen en bezettingen. Ook op mijn Havo verschenen soms clandestiene plakkaten op de muur met teksten zoals: "waarom zijn de leraren hier eigenlijk de baas?". Tegelijk waren enkele enthousiaste leraren (waaronder ikzelf) begonnen om aan die gloednieuwe Havo ook experimenteel vorm te geven met projectonderwijs. Op een interne conferentie van de leraren sprak de toenmalige conrector mij erop aan of ik niet iets kon verzinnen om op onze school opstanden en bezettingen te voorkomen. Het was toen mijn voorstel om niet langer buiten de leerlingen om conferenties over de toekomst van onze Havo te organiseren, maar om dat voortaan samen met geïnteresseerde leerlingen te doen. Hij stemde daarmee in en ik kreeg het mandaat om een dergelijke conferentie te organiseren.

Ik benaderde vervolgens een leerlinge uit Havo 3, legde haar uit wat de bedoeling was, en vroeg of zij samen met mij die conferentie wilde organiseren. Zonder enige aarzeling stemde Claire daar direct mee in. Wij vroegen er vervolgens samen nog andere leerlingen

en leraren bij, en zo vormden we een werkgroep die de conferentie ging voorbereiden. Wat mij van die voorbereiding het sterkst is bijgebleven is het enthousiasme waarmee Claire steeds dat magische woord 'conferentie' gebruikte. Wanneer zij mij maar tegenkwam vroeg zij: "wanneer gaan wij weer verder met onze conferentie?". Voor haar betekende dat woord iets moois, iets hoogs, iets spannends, en vooral bijzonder omdat zij er nu zelf eentje organiseerde.

Die conferentie werd een succes, en zelfs in die mate dat alle betrokkenen, schoolleiding, leraren en leerlingen, haar voor herhaling vatbaar vonden. Na die eerste conferentie hebben we het een zevental jaren volgehouden om jaarlijks met leerlingen en leraren van de Havo zo'n conferentie te houden. Op die conferenties werden alle onderwijs experimenten van het afgelopen schooljaar geëvalueerd, en werd besloten welke vernieuwingen, verbredingen en andere acties we in het komende schooljaar zouden ondernemen. Het is mij ook altijd bijgebleven hoe sterk de aanwezige leerlingen bij deze evaluaties en plannen betrokken waren. Het sprak hen duidelijk sterk aan om aangesproken te worden als volwaardige mede-vormgevers aan het schoolleven. Dit had tot gevolg dat er bij (bijna) alle verbeteringen en vernieuwingen die ondernomen werden ook leerlingen als mede verantwoordelijke vormgevers actief betrokken waren. Zo heb ik in die tijd kunnen meemaken hoe (onder gunstige condities) Havo leerlingen prima in staat zijn om mede vorm te geven aan schoolontwikkeling. En dat in een tijd (eind zestiger, begin zeventiger jaren) waarin het begrip 'schoolontwikkeling' hier en daar pas voor het eerst de kop opstak.

Aan de bovenstaande voorbeelden kan nog een eindeloze reeks toegevoegd worden. Daaronder ook veel voorbeelden uit de context van het reguliere onderwijs in de 'gewone' schoolvakken. De schoolvakken vertegenwoordigen immers allen aspecten van cultureel erfgoed, en zoals hierboven gesteld: leerlingen kunnen daardoor gevormd worden, maar zij kunnen daardoor ook geïnspireerd worden tot eigen vormgeving. Zoals in het hierboven gegeven voorbeeld van het schoolvak wiskunde. Natuurlijk zijn niet alle leerlingen ontvankelijk voor de inspiratie die van wiskunde kan uitgaan, en dat hoeft ook niet. Voor een aantal leerlingen blijft wiskunde een noodzakelijk kwaad, of een nuttig instrumentarium dat slechts in afgeleide zin (als middel voor iets anders) de moeite waard is. Maar deze leerlingen kunnen wellicht wel geïnspireerd worden door elementen die via andere schoolvakken aan de orde komen.

Via hun geschiedenisleraar kunnen zij misschien de inspirerende bewustzijnsverruiming ontdekken die 'historisch bewustzijn' kan bieden. Opnieuw: een 'historisch perspectief' kan ook nuttig zijn, maar het inspirerende heeft betrekking op iets anders. Iemand die historisch bewust leert waarnemen en historisch bewust leert leven krijgt toegang tot een fascinerende 'dimensie' van de werkelijkheid waarin eindeloos veel te ontdekken en te beleven valt. Voor zo iemand gaat als het ware 'een nieuwe wereld open'. Die verrijking van bewustzijn en levensmogelijkheden is voor een aantal leerlingen zo bijzonder dat zij daar een deel van hun leven aan willen wijden. Niet om de nuttigheid ervan, maar om die verrijking zelf.

Via een leraar Frans, Duits of Engels kunnen andere leerlingen misschien leren hoe een 'vreemde taal' een toegangspoort kan zijn naar fascinerende mensen in andere landen met andere levensstijlen, andere verhalen en andere gedichten. Ook grensoverschrijdend communiceren kan meer dan nuttig zijn. Ook 'vreemde talen' kunnen fungeren als toegangspoorten naar nieuwe werelden en andere levensvormen. Ook het leren van talen kan inspirerend zijn door de enorme verrijking van mogelijkheden voor vormgeving.

Zo kan, tenslotte, een leraar levensbeschouwing (of godsdienst) leerlingen in contact brengen met verhalen, symbolen en rituelen uit levensbeschouwelijke tradities, met rijke vormen en inhouden die hen kunnen inspireren tot eigen antwoorden op levensvragen en tot een zinvolle vormgeving aan het eigen leven.

Kenmerken en termen

Aan de hand van bovenstaande voorbeelden wil ik nu enkele eerste kenmerken van vorming identificeren. Tegelijk daarmee maak ik een begin met het introduceren van een taal die helpt om vorming in zijn samenhangen zichtbaar te maken. Daarbij begin ik bij 'gewone' dagelijkse omgangstaal. Later in deze studie zal deze taal nog worden uitgebreid, ingeperkt en omgevormd in het licht van het doel van mijn onderzoek.

Een eerste kenmerk is, dat vorming '*leren waarden*' impliceert. De waardering ontstaat bij eerste kennismaking soms snel en spontaan (zoals 'liefde op het eerste gezicht') en soms pas geleidelijk. Zoals Nessa, die zich door liedjes en zingen direct aangesproken voelt, en zoals ikzelf, die pas op den duur waardering voor wiskunde kon opbrengen. Maar, wanneer de vorming duurzaam wordt, dan komt er een leerproces op gang met betrekking tot die waardering. Wanneer je als vormgever met die waardering aan de slag gaat dan doe je nieuwe ervaringen op die al dan niet inspirerend zijn, dat heeft weer invloed op je waardering, dat maakt weer uit voor wat je er al dan niet verder mee gaat doen, en zo voorts. In mijn geval verdiepte mijn waardering voor wiskunde zich wel door mijn studie, maar werd ook gerelativeerd, omdat ik ook natuurkunde leerde waarden, en vanaf een bepaald moment ook een passie voor filosofie ontwikkelde. Toen ik eenmaal leraar werd waren wis- en natuurkunde al van hun hoge posities verdrongen door filosofie, maar kon ik desondanks nog van harte een leraar wiskunde zijn.

Bij dit '*leren waarden*' moet aangetekend worden dat het waarden in dit verband niet in de eerste plaats het karakter heeft van '*als nuttig waarden*' maar van '*waarden-om-zichzelf*'²⁷. Om een primaire bron van inspiratie voor vormgeving te kunnen zijn moet een voorwerp van waardering kennelijk om-zichzelf gewaardeerd worden. Wanneer iets als nuttig ervaren wordt dan is iets anders de primaire inspiratiebron. Iemand kan bijvoorbeeld wiskunde als nuttig waarden, omdat voor die persoon tech-

²⁷ De oudste bron, waaruit ik deze onderscheiding tussen waarden-om-zichzelf en waarden-om-iets-anders heb leren kennen, is Aristoteles. Zie bijvoorbeeld de prachtige vertaling door Cornelis Verhoeven van *Lof van de Wijsbegeerte* (1998).

niek een primaire inspiratiebron is. Om vorming op gang te brengen is het in de eerste plaats nodig dat mensen primaire bronnen van inspiratie ontdekken. Om de vormgeving in praktijk te brengen, en daarbij kwaliteit te realiseren, blijken ook een aantal andere zaken nodig, en die andere zaken worden als gevolg van het leerproces in afgeleide zin als nuttig gewaardeerd.

Het is in dit verband opvallend dat kinderen in het algemeen een duidelijke voorkeur aan de dag leggen voor het waarden-om-zichzelf. Hoe jonger zij zijn, hoe minder nuttigheid hen lijkt aan te spreken. Toen ik met Stein een krant ging maken speelde nuttigheid daar voor mij –als volwassene– een belangrijke rol bij. Omdat hij op school moeite heeft met taal en spelling leek het mij nuttig om hem op dit gebied eens extra te stimuleren. Toen hij echter aan mij vroeg om weer eens zo'n krant te maken was het heel duidelijk dat hij dat niet vroeg omdat hij gemerkt had hoe nuttig het 'krantenspel' voor zijn prestaties op school geweest was, maar gewoon omdat hij het zo'n leuk spel had gevonden. Tijdens het spel had hij wel gemerkt dat vaardigheden die hij op school geleerd had nuttig bleken voor het 'krantenspel', maar de omgekeerde doel-middelen verhouding (zoals die voor mij speelde), interesseerde hem in het geheel niet. Zijn primaire waardering betrof het spel.

Het ligt voor de hand dat de voorkeur van kinderen voor spelen nauw samenhangt met hun voorkeur voor het waarden-om-zichzelf. Spelen doen kinderen (en vaak ook volwassenen) immers niet om de nuttigheid ervan maar om het plezier, de spanning of de voldoening die het spelen zelf al geeft (Huizinga, 1952).

Bij het 'leren waarden' moet niet vergeten worden dat het een negatieve keerzijde heeft in 'leren afkeuren' of 'leren afwijzen'. Dat laatste hoort er net zo goed bij. Iemand die bijvoorbeeld de emotionele diepgang van goede muziek leert waarden zal in diezelfde mate muziek die mikt op 'goedkope sentimentaliteit' negatief waarden. Het 'leren waarden' gaat gepaard met de ontwikkeling van 'onderscheidend vermogen'. Het vermogen dat een kunstliefhebber in staat stelt om 'kunst en kitsch' van elkaar te onderscheiden. Het vermogen dat een liefhebber van eerlijk politiek engagement in staat stelt om de goedkope (en gevaarlijke) onechtheid van demagogie en populisme direct te onderkennen, en afkeer daarvan te ontwikkelen. Bij vorming hoort een ontwikkeling tot 'fijnproever'. Een fijnproever die zaken uitspuwt die anderen misschien nog slikken. Bij het 'leren waarden' moet ik dus nadrukkelijk aantekenen dat 'negatief leren waarden' daar onlosmakelijk bij hoort. Ook deze negatieve kant van 'leren waarden' vraagt om een leerproces. Zoals bekend reageren veel kinderen negatief op onrechtvaardigheid, maar vaak ook heel ongenueanceerd. Men kan dat zien als een goed begin van de ontwikkeling van het onderscheidingsvermogen tussen recht en onrecht. Maar, het is ook belangrijk dat dit onderscheidingsvermogen zich verfijnt en nuanceert. Het verschil tussen recht en onrecht is vaak situationeel gebonden, en niet altijd volgens vaste regels te bepalen. Het is belangrijk om dat te leren.

Het lijkt voor de hand te liggen om in verband met vorming de begrippen 'nut' en 'zin' of 'nuttig' en 'zinvol' als onderscheidend paar te gebruiken²⁸. In de loop der jaren ben ik er echter toe gekomen om in plaats van 'zinvol' het begrip 'zingevend'²⁹ te gebruiken. De uitdrukking 'zinvol' is mij te statisch. De onderscheidende kwaliteit van de zaken die wij waarderen om zichzelf lijkt mij te zijn: dat zij ons iets *geven*. 'Zingen' geeft bijvoorbeeld iets aan diegene die het zingen waardeert om zichzelf. Iets, dat nuttigheid niet kan geven. Een bijzondere soort van voldoening, vervulling, groei of vernieuwing, die men kan onderscheiden van de bevrediging van een behoefte (omdat bevrediging niet iets nieuws geeft maar slechts de opheffing van een bekend gemis)³⁰.

Ik heb hierboven echter al een ander begrip geïntroduceerd dat dit bijzondere op een rake manier kan typeren. Dat is het begrip *inspiratie*. Wat een zingende ervaring ons geeft is te benoemen als *inspiratie*. Met 'inspiratie' bedoel ik dan een 'inblazing'³¹ die niet uit onszelf afkomstig is, en die een waardering om-zichzelf oproept die wél uit onszelf afkomstig is, en die tegelijk de drijfveer is om aan die waardering uitdrukking te geven, om iets tot stand te brengen, en om daar een eigen vorm aan te geven. Inspiratie betekent, zo beschouwd, dat we iets buiten onszelf ontmoeten dat ons aanspreekt en stimuleert als originele waardeerders en vormgevers. Een zingende ervaring staat dan gelijk aan een inspirerende ervaring³².

Het is belangrijk om hierbij weer een aanvulling te geven die correspondeert met mijn hierboven gegeven aanvulling over 'negatief leren waarderen'. Ook negatieve ervaringen kunnen inspirerend en zingend zijn. Op de vraag, uit welke ervaring zijn passie voor muziekonderwijs vooral was voortgekomen, antwoordde een collega eens met het verhaal hoe 'blokfluit les' hem in zijn vroege jeugd bijna alle plezier in muziek ontnomen had. Aan die ervaring ontleende hij nog steeds een belangrijk deel van zijn motivatie om lesvormen te ontwikkelen die kinderen laten ervaren hoe inspirerend het zelf maken van muziek kan zijn. Het vermogen van mensen om zelfs extreem negatieve ervaringen te vertalen naar zinging en inspiratie laat soms zeer indrukwekkende voorbeelden zien. Men kan bijvoorbeeld denken aan overlevenden van de holocaust die zich niet overgaven aan haat of wrok, maar zich lieten inspireren tot een commitment met huma-

²⁸ Zoals bijvoorbeeld Lea Dasberg doet in *Menswording tussen Mode, Management en Moraal* (1996).

²⁹ Zie (Lengkeek, 1996, 1998, 2000, 2009).

³⁰ De bijzonderheid die Levinas ertoe bracht om verschil te maken tussen 'besoin' en 'désir (de l'infini)' (1968), en die Maslov ertoe bracht om verschil te maken tussen 'deficiency needs' en 'self-actualizing needs' (1972).

³¹ De letterlijke vertaling van 'inspiratie'.

³² Deze stelling klopt alleen wanneer het adjectief 'inspirerend' de specifieke betekenis heeft die ik hierboven heb omschreven. In het dagelijks gebruik wordt 'inspirerend' veel losser gebruikt. Bijvoorbeeld voor ervaringen die prettig of bevredigend, maar niet zingend hoeven te zijn.

niteit en mededogen³³. Ook afgezien van oorlog en grote rampen kan men er voorbeelden van tegenkomen, dat mensen juist aan ervaringen van ziekte en dood inspiratie kunnen ontlenu. De stichting 'Semmy' is bijvoorbeeld opgericht door ouders die een kind aan hersenstamkanker hebben verloren. Uit dit verlies hebben zij de inspiratie geput voor de vormgeving aan een particulier initiatief dat gericht is op de stimulering van onderzoek naar deze tot op heden ongeneeslijke vorm van kanker³⁴.

Een ander kenmerk dat ik hier moet noemen is, dat vorming *verbijzondert*. Een individueel mens die zich vormt leert van zijn/haar eigen unieke zingevende ervaringen. Hij/zij laat zich zodoende inspireren om zich tot een unieke vormgever te ontwikkelen. Vergelijkbaar met de beroemde schilders die door 'echte kenners' herkend worden aan hun bijzondere penseelvoering, kleur- en verfgebruik, et cetera. Een zich vormend mens ontwikkelt zich tot een bijzonder mens, die als enkeling al een categorie vormt op-zich-zelf.

Ditzelfde geldt voor een gemeenschap of collectief. Een zich vormende school, bijvoorbeeld, leert van gedeelde zingevende ervaringen (zoals die conferentie uit het voorbeeld), en laat zich daardoor inspireren om zich tot een unieke creatieve gemeenschap te ontwikkelen. Een zich vormende school is, zo beschouwd, per definitie een bijzondere school.

Vorming en identiteit

De schema's die ik in de vorige paragraaf gebruikte om het concept 'identiteit' nader te bepalen (pagina's 31 en 33), zijn ook van toepassing op de leerlingen, om wier vorming het in mijn studie uiteindelijk te doen is. Ook zij nemen als 'componenten-met-functies' deel aan verschillende sociale organisaties zoals het gezin, het grotere familieverband, een klas als collectief van leerlingen, de school als geheel, een vriendengroep, een sportvereniging, et cetera. Omdat het concept 'identiteit' bovendien een cruciaal element is van de vraagstelling die ik op pagina 34 formuleerde, is het van belang om nu de vraag te stellen wat het verband is tussen de 'identiteit' die ik eerder introduceerde en de 'vorming' uit de huidige paragraaf.

'Vorming' omschreef ik op pagina 38 als *de ontwikkeling van (jonge) mensen tot en als creatieve vormgevers*. Daarom is mijn vraag nu: *wat kenmerkt de identiteit van een zich ontwikkelende vormgever (kortweg 'vormgever')?*

In antwoord daarop stel ik vast dat een vormgever zijn creatieve bijdrage aan cultuur en maatschappij niet anders kan realiseren dan door deel te nemen aan verschillende sys-

³³ De filosoof Emmanuel Levinas is daar een voorbeeld van.

³⁴ Zie <http://www.stichtingsemmy.nl>

temen volgens welke cultuur en maatschappij georganiseerd zijn. Ofwel: door creatief vorm te geven aan zijn functioneren in verschillende activiteitssystemen.

Wanneer een component C uit de schema's van pagina's 31 en 33 een vormgever is, dan impliceert dit dat deze component niet alleen passief gevormd *wordt* door zijn functioneren binnen activiteitssysteem A, maar zelf een eigen herkenbare bijdrage aan zijn functioneren geeft en zodoende ook aan het functioneren van A als geheel³⁵. Een vormgever functioneert dus bepaald niet als een dode mechanische component, maar als een levende en creatieve component. Een vormgever is een component die ook 'zelf' vormgeeft aan zijn functioneren. Een vormgever is een component met een actieve, levende, creatieve 'identiteit'. Deze creativiteit kan met recht een identiteitskenmerk genoemd worden wanneer bij de vormgever, op grond van ervaringen met creatieve vormgeving in één of meer activiteitssystemen, het zelfvertrouwen groeit dat hij/zij binnen allerlei verschillende activiteitssystemen tot creatieve vormgeving in staat kan zijn.

In het kader van onderzoek is het belangrijk om te vragen, of, en zo ja aan welke kenmerken, het waarneembaar is dat een vormgever beschikt over een dergelijke creatieve identiteit. In de laatste hoofdstukken van de delen II en III wordt nader op de vraag naar deze onderzoekbaarheid ingegaan. Op deze plaats wil ik volstaan met een voorbeeld op het gebied van schilderkunst. Op dit gebied zijn methoden ontwikkeld om de 'echtheid' van een kunstwerk met een betrekkelijk grote mate van validiteit en betrouwbaarheid vast te stellen aan allerlei stijl- en andere kenmerken. Het blijft 'betrekkelijk' omdat imitators deze kenmerken ook kennen en vernuftige pogingen kunnen ondernemen om bijvoorbeeld alle bekende kenmerken van een 'Rembrandt' te kopiëren. Toch blijkt het in de meeste gevallen mogelijk -op basis van waarnemingen die in de gemeenschap van geschoolde kunstenaars uitwisselbaar, bruikbaar en verbeterbaar zijn- om op grond van combinaties van allerlei kenmerken het verschil tussen echt en onecht waar te nemen.

Om deze creatieve identiteit of 'echtheid' in één woord aan te duiden kan het begrip '*authenticiteit*' gebruikt worden. Bij dit gebruik wil ik mij graag aansluiten. De authenticiteit van een vormgever is extern te herkennen aan allerlei kenmerken zoals een eigen 'stijl' in houding, gedrag, of kleding, misschien ook aan taalgebruik, of aan verhaalvormen, of aan wat het ook maar moge zijn. Wanneer men authenticiteit bij iemand herkent, dan zegt men bijvoorbeeld "zij blijft zichzelf, ook al functioneert zij als ...". Daarnaast is bekend dat voor een vormgever zelf diens eigen authenticiteit ook voorwerp van zorg kan (en moet) zijn. Kunstenaars zijn zich er bijvoorbeeld vaak goed van bewust hoe essentieel het voor hun kunstenaarschap is om authentiek te zijn en te blijven. Zij weten meestal ook heel goed dat stilstand, zichzelf eindeloos herhalen, ook het verlies van hun authenticiteit betekent. Authenticiteit impliceert een ontwikkelings- of leerproces. Zo kom ik dan weer terug bij mijn concept van vorming. Wie wil leren om zich tot en als

³⁵ Deze bijdrage aan het geheel is niet per definitie positief. Hij kan ook het karakter hebben van een storing, van 'ruis', van ondermijning, et cetera.

vormgever te ontwikkelen, die moet leren om zichzelf te zijn, zichzelf te blijven, en zichzelf –zijn eigen stijl- te ontwikkelen. Zoals het nu, in deze laatste zin, geformuleerd is lijkt vorming gekenmerkt te worden door 'zelfgerichtheid' en 'zelfzucht'. Toch is deze indruk onjuist. De mogelijkheid om authentiek te zijn en te blijven blijkt immers ook wezenlijk afhankelijk te zijn van 'inspiratie'. Dat impliceert dat authenticiteit ook afhankelijk is van onvoorspelbare aansporingen, confrontaties, uitdagingen, wonderen en onheilen, kortom: van zingevende gebeurtenissen die een mens ongevraagd overkomen, en waarvoor een vormgever zich kan open stellen (en zijn bekommernis om zichzelf dan juist moet kunnen vergeten) om zich erdoor te laten inspireren. Vorming houdt in dat je leert hoe ontvankelijkheid voor 'het andere', en jezelf daarin soms te 'verliezen', ook onmisbaar is om jezelf te zijn en jezelf te worden³⁶.

Wanneer ik nu terugkom op de vorming van de jonge mensen die onze scholen bevolken, dan is het nog belangrijk om op te merken dat deze jonge mensen in het algemeen authenticiteit niet van volwassenen hoeven te leren. Het is meestal eerder omgekeerd. Voor veel volwassenen die in het onderwijs werken is het juist één van de inspirerende aspecten van hun werk, dat zij daar jonge mensen ontmoeten die op onbevangen en spontane wijze zichzelf zijn. Hun 'natuurlijke' authenticiteit kan juist een volwassene inspireren om dan ook maar een aantal gekunstelde 'poses' te vergeten en ook maar gewoon zichzelf te zijn. Aan de andere kant blijkt ook omgekeerd authenticiteit een onmisbaar aspect van een inspirerende leraar te zijn (Roefs, 2010, p. 199; Stevens, 2010, p. 12 & 39)³⁷. Vermoedelijk omdat het voor jonge mensen bemoedigend is wanneer volwassenen, met een aanzienlijke bagage aan levenservaring (inclusief teleurstellingen en tegenslagen), en bekleed met gewichtige functies en verantwoordelijkheden (die druk uitoefenen om zich aan te passen), toch zichzelf kunnen blijven. Kennelijk kan authenticiteit in de interactie tussen leraren en leerlingen naar twee kanten inspirerend werken.

³⁶ Vandaar dat ik begrippen zoals 'autonomie' (Verlichting, Kant) of 'zelfontplooiing' (humanistische psychologie, Maslov, Rogers) in verband met 'vorming' veel minder geschikt acht dan het hier gebruikte begrip 'authenticiteit'. De eerstgenoemde begrippen impliceren naar mijn opvatting teveel miskennen van de essentiële rol van unieke, onvoorzienbare, oncontroleerbare zingevende gebeurtenissen die een individu, of een gemeenschap zoals een school, ongevraagd overkomen, en teveel miskennen van de essentiële rol van het 'vergeten' of 'verliezen' van zichzelf (Buber, Levinas).

³⁷ Niet in de zin dat elke authentieke leraar inspirerend is, maar wel in de zin dat alle inspirerende leraren authentiek zijn.

Samenvatting

Vorming is: leren om, als individu of als gemeenschap, geïnspireerd en creatief vorm te geven aan aspecten van maatschappij en cultuur, en daarmee ook aan het eigen leven en aan zichzelf.

Vorming impliceert:

- leren waarden (positief en negatief),
- leren van eigen zingevende ofwel inspirerende ervaringen,
- leren om authentiek te zijn, en om zijn eigen authentieke stijl van vormgeving te blijven ontwikkelen,
- en natuurlijk ook: het leren (kennen, verwerven, gebruiken, ...) van alles dat nuttig is voor het praktisch realiseren van de authentieke vormgeving waartoe men geïnspireerd is.

3.b Ondersteuning

Het werkwoord 'ondersteunen' ('to support') wordt in veel verschillende betekenissen gebruikt. Soms in contexten waarin werkwoorden zoals 'maken', 'produceren' of 'fabrikeren' niet op hun plaats zijn, en er daarom naar een ander werkwoord gezocht moet worden. Zo is het ook in mijn geval. Nu 'vorming' met 'authenticiteit' verbonden is, is het zonneklaar dat het authentieke vormgeverschap van een ander niet maakbaar is. Ik kan vormgeven aan veel, maar niet aan het eigen vormgeverschap van een ander. Dat moet ik werkelijk aan de ander overlaten. Daarom is 'ondersteunen' een passend werkwoord wanneer ik de vorming van een ander wil bevorderen³⁸.

Wie of wat kan, in het kader van onderwijs, de vorming van leerlingen ondersteunen? Op deze vraag zijn verschillende antwoorden te geven:

In de eerste plaats moeten hier leerlingen genoemd worden. Leerlingen kunnen elkaar op allerlei manieren ondersteunen. Jonge kinderen hebben bijvoorbeeld veel fantasie, en wanneer zij met elkaar spelen kunnen zij elkaar inspireren door het inspelen op elkaars fantasieën, en zodoende met elkaar een rijke fantasiewereld creëren.

Daarnaast kunnen natuurlijk ook leraren de leerlingen ondersteunen. Het is typerend dat mensen zich hun inspirerende leraren nog lang blijven herinneren (zoals ook uit mijn op pagina 39 beschreven voorbeeld blijkt). "De betekenis van deze docenten reikt verder dan de overdracht van kennis en kunde. Ze weten iets wakker te schudden

³⁸ In het voorafgaande werden 'bevorderen' en 'ondersteunen' nog afwisselend gebruikt. In het vervolg zal, in verband met vorming, de voorkeur gegeven worden aan het meer specifieke 'ondersteunen' boven het meer algemene 'bevorderen'.

waarvan de invloed blijvend is. Ze geven vertrouwen en durf en moedigen een gezonde nieuwsgierigheid of een kritische en lerende houding aan. Ze laten interesses ontluiken. De indruk van een inspirerende docent blijft lang nadat de feitelijke kennis is vervaagd." (Roefs, 2010, p. 16).

Op een vergelijkbare manier kunnen ook schoolleiders leerlingen ondersteunen. Ik sprak eens een directeur van een school voor speciaal onderwijs, die mij vertelde hoe hij ooit de ambitie had opgevat om directeur van een dergelijke school te worden. Hij had zelf ooit op een LOM school³⁹ gezeten, en zelfs op die school redde hij het aanvankelijk niet. De leraren, hoe kundig en goedbedoelend ook, kregen geen vat op hem en het ging van kwaad tot erger. Totdat hij een keer de directeur van de school ontmoette (omdat hij uit de les verwijderd was), die op de één of andere manier positieve mogelijkheden in hem zag, en die hem extra wilde helpen om toch een succes van zijn schoolloopbaan te maken. De directeur gaf hem bijles en wist bij hem een groeiend zelfvertrouwen wakker te maken. Toen hij de draad eenmaal te pakken had, had hij in enkele jaren alle achterstanden ingehaald. De conclusie van het verhaal was: "En daarom ben ik nu zelf directeur van zo'n school".

Ook andere medewerkers van de school kunnen leerlingen in hun vorming ondersteunen. Ik moet daarbij denken aan een schoolschoonmaker die in onze school een klein eigen keukentje had waarin hij zich in zijn pauzes terugtrok. Dat keukentje was vlak naast de kamer van de conrector. Hij was bij de leerlingen geliefd omdat hij altijd opgewekt was en vol met grapjes zat. Wanneer een leerling in een pauze bij de conrector op het matje was geroepen, meestal om daar een vermaning of een straf in ontvangst te nemen, dan ving hij die leerlingen na afloop in zijn keukentje op, gaf hen koffie en liet hen stoom afblazen. Van leerlingen heb ik vaak gehoord dat zij door hem niet alleen getroost maar ook geïnspireerd werden.

Tenslotte moet ik hier natuurlijk ook de school als geheel noemen. Het is duidelijk dat het schoolleven op lang niet alle scholen even ondersteunend en inspirerend is. Er zijn scholen die als activiteitssysteem in hoofdzaak gericht zijn op controle, op beheersing, en op het gevormd *worden*. Denk aan het 'leerstofjaarklassensysteem', het rooster, de vele toetsen, de cijfers en rapporten, de lessen en de pauzes, de schoolbel, de schoolregels, et cetera. Zonder af te dingen op de nuttigheid van dergelijke zaken, is het ook duidelijk dat een school zodanig 'dichtgeregeld' kan zijn, en dat angst en wantrouwen zozeer kunnen overheersen, dat er weinig ruimte overblijft voor vorming en inspiratie. Aan de andere kant zijn er ook scholen die laten zien dat een niet-overdreven mate van structuur en zekerheid een gunstige voorwaarde is voor creativiteit en voor waarlijk pedagogische relaties en interacties.

Deze studie concentreert zich op de rol van leidinggevend. Een logische vervolgvraag is daarom: *hoe* kan vorming ondersteund worden door een leidinggevende? Uit het voor-

³⁹ De afkorting betekent: school voor leer- en opvoedingsmoeilijkheden.

afgaande is duidelijk, dat het begin van het antwoord eenvoudig is. Zingevende of inspirerende ervaringen vormen hét 'voedsel' voor vorming. Wanneer ik, als leidinggevende, de vorming van anderen wil ondersteunen is het dus mijn eerste vraag of ik eraan bij kan dragen dat die anderen geïnspireerd worden c.q. zingevende ervaringen opdoen. Wanneer ik heb gemerkt dát zij geïnspireerd zijn, is het mijn tweede vraag of ik daarna het leren van die ervaringen kan ondersteunen. Met inachtneming van de afspraak, om een leidinggevende die de vorming van leerlingen ondersteunt een 'pedagogisch leider' te noemen (pagina 14) kunnen deze twee vragen geformuleerd worden als:

1. *Hoe kan een pedagogisch leider ondersteunen dat leerlingen op school geïnspireerd worden?* en
2. *Hoe kan een pedagogisch leider daarna het leren van zingevende ervaringen verder ondersteunen?*

Voor het vervolg van mijn verkenning, in de hierna volgende subparagraaf, zullen deze twee vragen als richtlijn gehanteerd worden. Daarbij zal naar algemene antwoorden gezocht worden. Algemene antwoorden, die in de volgende delen II en III kunnen helpen om specifieke antwoorden te vinden met betrekking tot het onderwijs in exacte vakken. Maar, voordat aan de beantwoording van deze vragen toegekomen kan worden vragen eerst de begrippen 'pedagogisch' en 'leiderschap' om nadere bepaling.

3.c Pedagogisch leiderschap

Pedagogisch

Het zal duidelijk zijn dat het adjectief 'pedagogisch' in deze studie met name gebruikt wordt om de actoren en de acties aan te duiden die ondersteunend zijn voor vorming. Maar, in het algemene spraakgebruik worden 'pedagogisch' en 'opvoedkundig' ook gebruikt wanneer socialiseren aan de orde is. En, meerdere pedagogische auteurs gebruiken de term 'pedagogisch' wanneer een *integratie* van doelstellingen beoogd wordt⁴⁰. Pedagogisch goed onderwijs is dan, in de hier gebruikte termen, onderwijs dat zich toelegt op de *integratie* van kwalificatie, socialisering en ondersteuning van vorming.

Wanneer ik, in navolging van Lea Dasberg (1993), het adjectief 'pedagogisch' hier reserveer voor de ondersteuning van vorming, dan is er dus sprake van een accentverschil met deze andere auteurs. Aan de andere kant is dit verschil ook niet zeer groot wanneer men bedenkt dat 'vorming' betrekking heeft op 'vorm geven aan ...', en dat dit 'aan ...' in een school betrekking heeft op al het *andere* dat in onderwijs en schoolleven aan de orde komt. Met andere woorden, wanneer men leerlingen ondersteunt in hun vorming, dan ondersteunt men leerlingen om zelf een creatieve vorm te geven aan hun kwalificatie en aan hun socialisering, en om zodoende hun eigen vormgeverschap te

⁴⁰ Zoals Biesta (2011), maar ook auteurs uit de cultuur-historische school zoals Van Oers (2011) en Klarus en Wardekker (2011) deze term gebruiken.

leren ontwikkelen. Ofwel, met ondersteunt leerlingen om zelf de bovengenoemde integratie te voltrekken.

Men kan in het onderwijs vorming dus niet 'apart' ondersteunen. Het ondersteunen van vorming impliceert: ondersteunen dat leerlingen zelf leren om de ingrediënten en doelen van onderwijs tot een voor hen zelf zinvol en inspirerend geheel te integreren. In die zin zal pedagogisch goed onderwijs zich ook in de termen van deze studie toeleggen op de *integratie* van kwalificatie, socialisering en ondersteuning van vorming.

Leiderschap

Het begrip 'leiderschap' is een veelzinnig begrip. De betekenis hangt in het algemeen sterk af van de context waarin het gebruikt wordt. Dat blijkt al uit de aanduidingen waarmee degenen die geleid *worden* beschreven worden. Dat kunnen 'volgers' of 'volgelingen' zijn, 'ondergeschikten', 'personeel', 'medewerkers', 'uitvoerders', en noem maar op. In elk van die gevallen heeft 'leiderschap' daarmee corresponderende verschillen in betekenis. Een constante in al die verschillen is, dat er altijd sprake is van een *asymmetrie* in de samenwerking tussen degene die leiding geeft en de ander die leiding ontvangt. De verschillen hebben betrekking op de verschillende aspecten waarop de asymmetrie van toepassing kan zijn.

Wanneer ik dit nu toepas op de context van het onderwijs, dan wil ik beginnen bij de constatering dat het in onderwijs primair gaat om het leren van leerlingen. De eerste asymmetrie die in dat verband opgemerkt kan worden is een asymmetrie in verantwoordelijkheid voor dat leren. Leraren zijn wel verantwoordelijk voor het leren van hun leerlingen, maar leerlingen zijn niet verantwoordelijk voor het leren van hun leraren. Met betrekking tot het leren dat op school plaats moet vinden zijn leerlingen en leraren geen gelijk verantwoordelijke partners. De leraar-leerling verhouding impliceert dat leraren leiding nemen en leiding geven.

Het pedagogisch leiderschap van leraren

'Pedagogisch leiderschap' is daarom een kwaliteit die welbeschouwd in de eerste plaats op leraren van toepassing is. Omdat leraren de eerste verantwoordelijkheid dragen voor de primaire onderwijsprocessen op school, zijn zij ook de eerst verantwoordelijken voor ondersteuning van de vorming van leerlingen. De asymmetrie van hun pedagogisch leiderschap impliceert dat zij niet verwachten dat zij qua ondersteuning door leerlingen 'met gelijke munt' worden terugbetaald. Uiteraard kunnen en zullen ook leerlingen hun leraren inspireren en in die zin de vorming van hun leraren ondersteunen. Maar, het is de verantwoordelijkheid van de leraar om zowel zorg te dragen voor de goede condities van zijn eigen inspiratie als voor die van zijn leerlingen. Een leraar moet goed voor zichzelf zorgen *om* zodoende goed voor zijn leerlingen te kunnen zorgen. De leraar moet de interactie met leerlingen *zó* vormgeven dat *zij* kansen, ruimte, en voedsel krijgen voor hun eigen vorming en zich daarop kunnen concentreren, zonder zich gelijke zorgen te hoeven maken over hun leraar.

De ondersteuning die een leraar aan de vorming van leerlingen geeft is soms individueel, maar meestal niet. De ondersteuning krijgt meestal vorm in situaties waarin de leraar verantwoordelijk is voor een groep leerlingen. Die ondersteuning realiseert zich door de manier waarop hij de situatie organiseert, door de inhoud die hij geeft, door zijn didactiek, door zijn improvisatie, door zijn reacties op gedrag en inbreng van leerlingen, door zijn ondersteuning van groepsvorming, et cetera.

Natuurlijk kunnen leerlingen, al naar gelang hun ontwikkelingsfase en vermogens, leren om mede verantwoordelijkheid te nemen voor een goed leerklimaat op school, en dus ook voor een vorming-ondersteunend leerklimaat, niet alleen voor zichzelf maar ook voor hun medeleerlingen. En het is ook zeer goed, met name voor de vorming van die leerlingen voor wie dit inspirerend kan zijn, wanneer leraren het nemen van deze verantwoordelijkheden door leerlingen bevorderen. Zoals het voorbeeld op pagina 39 liet zien is het zelfs mogelijk en toe te juichen dat leerlingen medeverantwoordelijkheid nemen voor schoolontwikkeling. Maar, dat neemt niet weg dat de leraren op deze gebieden meer verantwoordelijk zijn. Leraren moeten in dit alles het voortouw nemen en het voorbeeld zijn, kortom: de leiding nemen.

De ondersteuning van vorming door leraren impliceert een puur dienende vorm van leidinggeven. Daarnaast heeft het leidinggeven door leraren natuurlijk ook nog andere aspecten. Bijvoorbeeld: leraren moeten hun leerlingen ook socialiseren, vormen tot 'aangepaste burgers'. Zo nodig met gebruikmaking van de hen ten dienste staande machtsmiddelen, met behulp van straf en beloning, et cetera. De asymmetrie bestaat hier in het gegeven dat de leraar wel de leerlingen moet socialiseren, maar dat dit –als het goed is– in omgekeerde zin niet aan de orde is. In de derde plaats is voor leraarschap ook het 'meesterschap' van belang. Leraren kennen en kunnen op een aantal gebieden meer dan leerlingen, en het is hun taak de leerlingen te ondersteunen en te stimuleren om zich ook een deel van die kennis en kunde toe te eigenen. De meester-leerling relatie impliceert een vorm van inhoudelijk leiderschap. De asymmetrie is in dit geval inhoudelijk bepaald.

Het goed functioneren van die verschillende aspecten van leiderschap hangt sterk af van de manier waarop een leraar deze aspecten integreert tot een samenhangend geheel. Wanneer deze integratie slaagt en voor leerlingen overtuigend en acceptabel is, dan heeft een leraar 'gezag'.

Op grond van bovenstaande kan ik nu terugkomen op de twee vragen aan het eind van de vorige paragraaf (pagina 49). Toegepast op de leraar luidt de eerste vraag: *Hoe kan een leraar, als pedagogisch leider, ondersteunen dat leerlingen op school geïnspireerd worden?*

Voor het antwoord op deze vraag kan ik om te beginnen aanknopen bij de integratie van de verschillende aspecten van zijn leiderschap, waar een leraar vorm aan te geven heeft. Wanneer een leraar door middel van zijn leiderschap leerlingen niet alleen wil imponeren, maar vooral wil inspireren, dan is het wezenlijk dat hij *op authentieke wijze*

vorm geeft aan die integratie, en zo ook aan alle aspecten van zijn leiderschap. Het is bijvoorbeeld belangrijk dat hij, wanneer hij straffen en beloningen uitdeelt of andere machtsmiddelen inzet, zich niet verschuilt achter zijn leraarsrol of achter de schoolorganisatie 'waar hij ook niets aan kan doen', maar dat hij, in de manier waarop hij alle aspecten van zijn leiderschap uitoeft zichzelf kan zijn en zichzelf kan laten zien. Zijn authenticiteit wordt dan het 'verbindende' op grond waarvan die verschillende aspecten tot een geloofwaardig geheel geïntegreerd worden. Voor het belang van de authenticiteit van de leraar kan ik twee pedagogische redenen geven:

1. Het vermoeden, dat al genoemd werd op pagina 46, dat het voor jonge mensen beïnvloedend is om volwassenen mee te maken die erin slagen om, met al hun levenservaring en hun gewichtige verantwoordelijkheden, zichzelf te blijven en zichzelf te blijven ontwikkelen. Het is een natuurlijk gegeven dat jonge mensen naar volwassenen kijken als mogelijke 'modellen' voor wat en hoe zij zelf later kunnen zijn (of juist niet willen zijn). Wanneer de modellen die volwassenen laten zien authentiek zijn, en dat niet per ongeluk maar omdat zij authenticiteit belangrijk achten, dan kan dat jonge mensen inspireren om ook hun eigen authenticiteit op waarde te schatten en werk te maken van hun vorming daarin.
2. De authenticiteit van een ander is per definitie niet imiteerbaar⁴¹. Wanneer leerlingen een leraar als model zien van authenticiteit, en daarvan willen leren, dan kunnen zij 'uit de aard der zaak' niet volstaan met het imiteren van deze leraar⁴². Zij moeten wel 'de diepte in' van het vormingsproces om te leren hoe zij van deze leraar elementen kunnen overnemen, die zij zich kunnen toe-eigenen, en die zij creatief kunnen omvormen zodat ook zij zichzelf daarin tot uitdrukking brengen⁴³.

Kortom: een leraar kan de vorming van zijn leerlingen ondersteunen door, *in* zijn leiderschap, een voorbeeld van authenticiteit te zijn. Maar, authenticiteit, en zeker bewuste authenticiteit, vooronderstelt dat iemand geleerd heeft om in allerlei situaties, en ook

⁴¹ Deze opmerking dank ik aan de inaugurele oratie van Joachim Duyndam (2011a, 2011b), die haar plaatste in de context van zijn interpretatie van René Girard's concept van 'mimesis'.

⁴² Imponerende, niet authentieke, modellen lenen zich wel goed voor imitatie. Zo heb ik een collega wiskunde gekend die zijn gezag vooral aan zijn vak ontleende. Hij propageerde dat wiskunde het belangrijkste vak op school was omdat het voor iedereen verplicht was, omdat de maatschappij er niet buiten kon, omdat het precisie en zekerheid kon bieden waar geen ander vak tegenop kon, en omdat het zo moeilijk was dat het slechts aan een kleine elite gegeven is om er goed in te zijn. Er waren leerlingen die door zijn presentatie sterk geïmponeerd waren, en hem daarom tot in details imiteerden. Dat was te merken aan hun woordgebruik, maar ook aan hun manieren van staan en bewegen, een herkenbare manier van het trekken met hun mond, et cetera.

⁴³ Een dergelijk vormingsproces is bijvoorbeeld heel mooi te zien in overzichts-tentoonstellingen van schilders. Het is dan boeiend om te zien hoe zij eerst elementen overnemen van hun leermeesters of van inspirerende tijdgenoten, maar deze elementen ook leren omvormen tot een eigen herkenbare stijl.

onder grote aanpassingsdruk, zichzelf te zijn en zichzelf te blijven. Dit impliceert dat een authentieke leraar geleerd heeft om zelf een creatieve vorm aan zijn leiderschap te geven. Maar, dat betekent niets anders dan: dat zijn eigen ontwikkeling tot en als leider de kwaliteit van een *vormingsproces* heeft gehad. Een leraar die een pedagogische leider wil zijn moet dus in de eerste plaats werk maken van zijn eigen vorming.

Een essentieel element van die vorming is *inspiratie*. Een leraar die werk wil maken van zijn vorming moet er dus zorg voor dragen dat hij in situaties kan komen waarin hij geïnspireerd kan worden. Omdat het hier gaat over zijn vorming in *pedagogisch* leiderschap is het essentieel dat hij in situaties kan komen waarin hij geïnspireerd kan worden door de authenticiteit van leerlingen en hun ontwikkeling daarin, of juist het gebrek daaraan –denk aan de negatief inspirerende ervaringen. Om zorg te dragen voor deze inspiratie moet de leraar er zorg voor dragen dat hij in situaties kan komen waar hij zijn leerlingen leert kennen 'zoals zij zijn' en niet 'zoals zij zich alleen maar voordoen' vanuit hun functioneren als leerling in een schoolsysteem. Kort gezegd: hij moet er zorg voor dragen dat hij zijn leerlingen kan *ontmoeten*.

Wanneer voldaan is aan de voorwaarde dat de leraren authentieke leiders zijn, dan is de volgende voorwaarde voor de ondersteuning van de vorming van leerlingen, dat er situaties zijn waarin zij hun authentieke leraren niet alleen maar oppervlakkig, maar ook diepgaander leren kennen. Kortom: er moeten situaties zijn waarin zij hun leraren kunnen ontmoeten. Een pedagogische leider moet er dus ook zorg voor dragen dat er situaties zijn waarin de leerlingen *hem* kunnen ontmoeten. En dan zal het hem er niet alleen om gaan dat zij hem als persoon ontmoeten. Het zal er hem meestal nog meer om gaan dat zij via zijn persoon kennismaken met die inhouden en waarden die hem 'zeer ter harte gaan'⁴⁴.

Aan dit zorg dragen voor (mogelijkheden tot) ontmoetingen over en weer kunnen twee aspecten onderscheiden worden:

In de eerste plaats is het van belang dat de leraar een *houding* ontwikkelt die gekenmerkt wordt door openheid om leerlingen te ontmoeten, en openheid om zich door leerlingen te *laten* ontmoeten ('zich te laten kennen'). Als consequentie van die houding zal deze leraar ook kennis en vaardigheden ontwikkelen om op persoonlijke wijze aan te leren sturen op die kwaliteit van interactie met leerlingen, die te benoemen is als 'elkaar ontmoeten' of als 'dialogoog'.

In de tweede plaats is het van belang dat de leraar organisatorische kennis en vaardigheden inzet om zijn onderwijs zodanig te organiseren dat er *ruimte* is voor dialoog en

⁴⁴ Zoals de inspirerende leraar wiskunde die het belangrijk vond om leerlingen kennis te laten maken met de schoonheid van wiskunde (pagina 39). En, zoals Anouk Zuurmond in navolging van Arendt bepleit: een leraar moet leerlingen vooral in contact brengen met de *traditie* van zijn vak, en vooral niet de misstap begaan om *zélft* te dicteren hoe vernieuwing vorm moet krijgen (2016). Wanneer hij leerlingen daartoe de ruimte geeft, kan hij die vernieuwing aan *hen* overlaten.

ontmoeting. Uit de voorafgaande bepalingen van 'vorming' en 'ondersteuning' volgt immers dat niet-maakbare 'vorming' ook niet door een organisatievorm geproduceerd kan worden. Als organisator is de leraar daarom aangewezen op het organiseren van ruimte voor vorming. De keerzijde daarvan is de kennis van organisatievormen die deze ruimte *niet* bieden, en die daardoor de kansen op vorming, dialoog en ontmoeting verkleinen. De mogelijkheden, ofwel de 'professionele ruimte', die een leraar heeft om vorm te geven aan de onderwijssituaties waar hij direct verantwoordelijk voor is, zijn echter ook afhankelijk van kenmerken van de organisatie van de school als geheel. Een leraar die perspectiefrijke kansen ziet, of tegen beperkingen oploopt waar hij geen vrede mee heeft, zal zich er dus ook voor inzetten om de school als geheel in een meer vorming-ondersteunende richting te verbeteren⁴⁵. Uiteraard in samenwerking met anderen. Een '*professionele professional*' verschuilt zich niet achter de beperkingen van de organisatie waar hij deel van uitmaakt, maar zet zich ervoor in om die organisatie, in een door hem gewenste richting, te verbeteren (Zuurmond & de Jong, 2010).

Nu hiermee de eerste richtvraag beantwoord is (zie pagina 49), kom ik toe aan de tweede richtvraag: *Hoe kan een pedagogisch leider, daarna het leren van zingevende ervaringen verder ondersteunen?* Toegepast op de leraar: aangenomen dat leerlingen geïnspireerd zijn, wat kan de leraar dan verder bijdragen aan hun vorming? Het lijkt mij dat de antwoorden op deze vraag in drie richtingen gezocht kunnen worden:

1. Hij kan eraan bijdragen dat hun inspiratie opnieuw gevoed wordt. Soms is dat goed mogelijk door een vorm van herhaling. Een spel- of werkvorm die leerlingen eenmaal bleek te inspireren kan soms een aantal malen herhaald worden zonder dat deze als inspirerende bron van creativiteit opdroogt. De geïnspireerde leerlingen zullen vaak ook zelf om herhaling vragen.
2. Hij kan eraan bijdragen dat hun vormgevingsvermogen verbeterd wordt met behulp van alles wat daarvoor nuttig is. Hij kan hen stimuleren om zich kennis, vaardigheden, technieken en instrumenten eigen te maken, ... kortom: om zich alles te verwerken dat nuttig is voor het praktisch realiseren en verbeteren van de vormgeving waartoe zij geïnspireerd zijn. Deze ondersteuning is van niet te onderschatten betekenis. Het tekortschieten in vormgevingsvermogen kan zó frustrerend zijn dat leerlingen hun inspiratie verliezen. En omgekeerd, kan de ervaring van toegenomen competentie er in belangrijke mate aan bijdragen dat hun inspiratie duurzaam wordt. Het gaat zelfs om meer dan duurzaamheid. Een meer competente vormgever kan door meer complexe uitdagingen geïnspireerd worden, uitdagingen waartoe hij daarvoor niet geïnspireerd kon worden omdat zij buiten zijn bereik lagen. Een leerling die bijvoorbeeld Engels proza heeft leren vertalen kan op basis daarvan toeko-

⁴⁵ Het is dus een bijzonder kenmerk van een activiteitssysteem zoals een school, dat een component C door middel van zijn functioneren binnen A tegelijk ook de *organisatie* van een deel van A, of de *organisatie* van A als geheel, kan beïnvloeden (zie schema's op pagina's 31 en 33).

men aan een volgende uitdaging: het vertalen van een Engels gedicht. Om het in de termen van de cultuur-historische school te formuleren: de leerling kan toekomen aan een 'zone van naaste ontwikkeling' (Vygotsky, 1978). Deze vorm van ondersteuning vraagt van de docent om maatwerk. Hij moet rekening houden met de ontwikkelingsfase van de leerling en precies datgene aanbieden dat de leerling in die fase nodig heeft.

3. Wanneer de leraar opmerkt dat leerlingen een 'zone van naaste ontwikkeling' in hun vorming bereiken kan hij het initiatief nemen om (samen met hen) te zoeken naar mogelijkheden om vorm te geven aan situaties waarin zij verdiepende ontmoetingen kunnen opdoen en waarin zij op een hoger niveau uitgedaagd en geïnspireerd kunnen worden.

Het (ped)agogisch leiderschap van schoolleiders

Omdat er veel overeenkomstige kenmerken zijn, kan het pedagogisch leiderschap van schoolleiders volgens hetzelfde stramien beschreven worden als het pedagogisch leiderschap van leraren. Daarnaast zijn er ook evidente verschillen. De invloed van schoolleiders op de vorming van leerlingen is indirecter dan die van leraren. De asymmetrie van het leidinggeven impliceert voor schoolleiders dat zij eerste verantwoordelijkheid dragen voor de kwaliteit van het schoolleven als geheel, inclusief de kwaliteit van de samenwerking van alle medewerkers daaraan, en inclusief de ondersteuning van leer- en ontwikkelingsprocessen bij leraren en onderwijs ondersteunend personeel (oop). Met het doel dat de leraren en het oop zich optimaal kunnen concentreren op het deel van het schoolleven waarvoor zij eerstverantwoordelijk zijn.

Met betrekking tot vorming impliceert het leiderschap van schoolleiders dat zij de vorming van leraren en oop, en de vorming van de schoolgemeenschap als geheel, ondersteunen, zonder een gelijke ondersteuning van hun eigen vorming terug te verwachten. Uiteraard zullen schoolleiders ook geïnspireerd worden door leerlingen, door medewerkers, door de ontwikkeling van de school, en zullen zij hierdoor in hun eigen vorming ondersteund worden. Maar, het is de verantwoordelijkheid van de schoolleider om zowel zorg te dragen voor de goede condities van zijn eigen inspiratie als voor die van leraren en oop. De schoolleider moet goed voor zichzelf zorgen *om* zodoende goed voor zijn medewerkers en de school als geheel te kunnen zorgen. Dit zou ik 'agogisch leiderschap' kunnen noemen omdat bij een schoolleider het accent ligt op de ondersteuning van volwassenen.

Aan de andere kant kan de term 'pedagogisch leiderschap' toch ook voor schoolleiders gehandhaafd worden, voor zover de vorming van medewerkers, en van de schoolgemeenschap als geheel, geen doel in-zichzelf is maar uiteindelijk bedoeld is om de vorming van leerlingen te ondersteunen. De ondersteuning die schoolleiders als *pedagogische* leiders aan medewerkers geven is gericht op *hun* pedagogisch leiderschap, en de ondersteuning die zij aan de ontwikkeling van de school als geheel bieden is gericht op de vorming-ondersteunende kwaliteit die de school voor leerlingen heeft.

De ondersteuning die een schoolleider aan de vorming van medewerkers geeft is soms individueel, maar meestal niet. Zijn ondersteuning realiseert zich door de manier waarop hij overleg en samenwerking organiseert, door zijn initiatieven en besluiten, door de inhoud die hij inbrengt, door zijn improvisaties, door zijn reacties op gedrag en inbreng van medewerkers, en door de manieren waarop hij de ontwikkeling van teams en van de schoolgemeenschap als geheel ondersteunt.

Natuurlijk moeten leraren en oop medeverantwoordelijkheid (leren) nemen voor de schoolgemeenschap en haar ontwikkeling als geheel, maar dat neemt niet weg dat het de eerste verantwoordelijkheid van de schoolleider is om het nemen van die medeverantwoordelijkheden op allerlei manieren te bevorderen: door middel van stimuleren, provoceren, waarderen, belonen, delegeren, organiseren, faciliteren, et cetera.

Voor de schoolleider geldt, zoals ook voor leraren, dat het ondersteunen van vorming maar één aspect van zijn leiderschap is. Daarnaast moet hij medewerkers ook socialiseren tot 'aangepaste medewerkers'. Zo nodig met gebruikmaking van machtsmiddelen, met behulp van sancties en beloningen, met behulp van functie- en taaksystemen, et cetera.

Voor de schoolleider geldt niet, of veel minder, dat hij voor zijn medewerkers een 'meester' is. Hij geeft leiding aan professionals die op allerlei verschillende aspecten van het onderwijs en de organisatie daarvan over meer kennis en kunde beschikken dan hijzelf. Inhoudelijk kan een schoolleider zich op allerlei gebieden *laten* leiden door medewerkers die op die gebieden competenter zijn dan hijzelf. Hij heeft natuurlijk zijn eigen specialisaties op verschillende gebieden, maar hij blijft een professional te midden van professionals. Zijn inhoudelijk leiderschap bestaat in het organiseren van uitwisselingen die eraan bijdragen dat de professionals (waartoe hij zelf behoort) zo goed mogelijk gebruik maken van elkaars competenties.

Ook voor een schoolleider geldt dat zijn gezag vooral afhankelijk is van de wijze waarop hij de verschillende dimensies van zijn leiding geven weet te integreren tot een geloofwaardig geheel.

Het pedagogisch leiderschap van een schoolleider heeft dus voor het grootste deel een indirect en voor een kleiner deel een direct karakter. Zijn ondersteuning van de vorming van leerlingen bestaat uit:

- zijn bijdrage aan het vorming-ondersteunende karakter van de school als geheel,
- zijn bijdrage aan het pedagogisch leiderschap van leraren,
- zijn directe interacties met leerlingen⁴⁶.

⁴⁶ Dat ook deze laatste vorm van ondersteuning belangrijk kan zijn illustreert het voorbeeld op pagina 48.

Op grond van bovenstaande kan ik nu terugkomen op de twee richtvragen aan het eind van de vorige paragraaf (pagina 49). Toegepast op de schoolleider luidt de eerste vraag: *Hoe kan een schoolleider, als pedagogisch leider, ondersteunen dat leerlingen op school geïnspireerd worden?*

Voor het antwoord op deze vraag kan ik om te beginnen, net als bij de leraar, aanknopen bij de integratie van de verschillende dimensies van het leiderschap van de schoolleider. Ook voor de schoolleider geldt dat hij, wanneer hij zijn medewerkers en zijn leerlingen niet alleen wil imponeren, maar hen ook wil inspireren, op authentieke wijze vorm moet geven aan zijn leiderschap. En ook voor hem geldt, dat zijn authenticiteit het mogelijk maakt om de verschillende dimensies van zijn leiderschap tot een geloofwaardig geheel te verbinden. Het 'pedagogische belang' van de authenticiteit van de schoolleider kan, naar analogie van het belang van de authenticiteit van de leraar, als volgt gemotiveerd worden:

1. Als verantwoordelijke voor de school als geheel (of voor een locatie, een afdeling, een unit als geheel) vertegenwoordigt de schoolleider zowel naar binnen als naar buiten 'het gezicht' van de school. Een schoolleider moet daarom laten zien, ook in de persoonlijke stijl van zijn voorkomen en handelen, waar de school voor staat. Ook een schoolleider functioneert als een 'model', en dat niet alleen voor de leerlingen, maar ook voor de medewerkers, en ook voor de buitenwacht, zoals: ouders, collega's van andere scholen, bestuurders, et cetera.

Wanneer de schoolleider een model is van authenticiteit, dan is dat inspirerend voor de leerlingen. Het is voor hen bemoedigend om te zien dat ook een rector, directeur of adjunct, met al zijn levenservaring en zijn gewichtige verantwoordelijkheden, erin slaagt om zichzelf te zijn en zichzelf te blijven ontwikkelen.

De authenticiteit van de schoolleider, en zeker wanneer duidelijk is dat hij deze van groot belang acht zowel bij anderen als bij zichzelf, is ook inspirerend voor leraren en oop. Wanneer de schoolleider, als leidinggevende, authenticiteit in woorden en daden benadrukt, dan geeft hij daarmee aan dat authenticiteit meer is (of meer kan zijn) dan alleen een persoonlijke waarde voor sommigen. Hij geeft daarmee aan dat het een pedagogische waarde is die een belangrijke plaats heeft (of kan innemen) in de cultuur van de school als geheel.

Wanneer authenticiteit inderdaad een gedeelde waarde is in de schoolcultuur, dan zullen zowel leerlingen, als leraren, en het oop ondersteuning ervaren vanuit deze cultuur bij een essentieel aspect van hun vorming. Deze cultuur zal er dan ook zeker aan bijdragen dat de school ook in haar omgeving haar pedagogische gezicht laat zien. Zij laat zich dan immers zien als een school waar leerlingen niet alleen gevormd *worden* naar uniforme maatschappelijke modellen, maar waar leerlingen ook leren om zich tot unieke *vormgevers* te ontwikkelen.

2. Ook in dit verband geldt dat authenticiteit een belangwekkend kenmerk is van de schoolleider als model, omdat authenticiteit per definitie niet imiteerbaar is. Ieder die deze authenticiteit als inspirerend ervaart kan haar alleen navolgen door werk te maken van zijn eigen vorming.

Net als voor de leraar geldt voor de schoolleider, dat bewuste authenticiteit vooronderstelt dat de schoolleider geleerd heeft om zelf een creatieve vorm aan zijn leiderschap te geven. Kortom: dat zijn ontwikkeling tot en als schoolleider de kwaliteit van een *vormingsproces* heeft gehad. Een schoolleider die een pedagogische leider wil zijn moet daartoe dus in de eerste plaats werk maken van zijn eigen vorming.

Omdat *inspiratie* een essentieel element is van die vorming moet een schoolleider er dus zorg voor dragen dat hij in situaties kan komen waarin hij geïnspireerd kan worden. Omdat het hier gaat over zijn vorming in *pedagogisch leiderschap* is het essentieel dat hij in situaties kan komen waarin hij geïnspireerd kan worden door de authenticiteit van leerlingen en hun ontwikkeling daarin. Met andere woorden: hij moet er zorg voor dragen dat hij leerlingen kan *ontmoeten*. Dit laatste is voor schoolleiders, vanwege hun positie in de school, moeilijker dan voor leraren. Toch blijft dit belangrijk voor de motivatie van schoolleiders, om zich op de pedagogisch dimensie van hun leiderschap te richten. Wanneer zij te weinig ontmoetingen met leerlingen hebben, dan kunnen zij het besef verliezen van "waar het in deze school allemaal om draait", en wanneer zij dergelijke ontmoetingen wél meemaken, dan kan men hen zoiets horen zeggen als: "nu weet ik weer waar het in mijn werk uiteindelijk om gaat". Het is ook duidelijk dat het dan niet zozeer gaat om de kwantiteit als wel om de kwaliteit van deze ontmoetingen⁴⁷.

Het opzoeken en organiseren van situaties waarin schoolleiders leerlingen kunnen ontmoeten en eventueel ook omgekeerd, lijkt mij belangrijker voor de schoolleiders dan voor de leerlingen. Als het goed is ontmoeten de leerlingen immers al een aantal inspirerende leraren, en aan deze ontmoetingen ontleen zij een veel groter aandeel voor hun vorming dan aan hun ontmoetingen met de schoolleider. Hier past bescheidenheid voor de schoolleider. De leraren zijn de eerstverantwoordelijken voor de vraag of leerlingen op school geïnspireerd worden, en de schoolleider moet het inspireren van leerlingen vooral aan hen overlaten. De schoolleider kan in dit opzicht voor de leerlingen van zijn school het meest bereiken door leraren (en oop) te inspireren om leerlingen te inspireren.

Ontmoetingen tussen schoolleiders en leraren of oop zijn wel voor beide partijen van groot belang. Als het ondersteunen van leraren en oop in hún vorming in pedagogisch leiderschap inderdaad tot het werk van de schoolleider behoort, dan is het voor de schoolleider belangrijk om van tijd tot tijd die ontwikkeling van dichtbij mee te maken en zich daardoor te laten inspireren (lieftst positief, soms ook negatief). Het is dus

⁴⁷ Wanneer deze hypothese klopt, dan kunnen er vraagtekens gezet worden bij schoolorganisaties die zodanig georganiseerd zijn dat het praktisch uitgesloten is dat de leiding, en zeker de hoogste leiding in de vorm van een CvB of iets dergelijks, ooit leerlingen of studenten zal ontmoeten. Pedagogisch leiderschap wordt dan op dat managementniveau in feite onmogelijk gemaakt, c.q. weg-georganiseerd. Aan de andere kant: wanneer het zelfs aan onze minister president lukt om van tijd tot tijd voor de klas te staan, dan zou het toch ook voor leden van een CvB mogelijk moeten zijn om af en toe hun leerlingen of studenten te ontmoeten.

belangrijk dat er situaties zijn waarin de schoolleider zijn medewerkers áls (soms gemankeerde) pedagogische leiders kan ontmoeten.

Omgekeerd is het voor de medewerkers inspirerend wanneer zij het authentieke commitment van de schoolleider met hun vorming in pedagogisch leiderschap kunnen ervaren⁴⁸, evenals zijn commitment om vorm te geven aan de school als een vorming-ondersteunende school, en zijn beroep op hen om daarin met elkaar en met hem samen te werken. Daarom is het ook belangrijk dat er situaties zijn waarin zij de schoolleider kunnen ontmoeten als (ped)agogisch leider.

Zoals bij leraren, kunnen ook aan het zorg dragen voor ontmoetingen door schoolleiders twee aspecten onderscheiden worden:

In de eerste plaats is het van belang dat de schoolleider een *houding* ontwikkelt die gekenmerkt wordt door openheid om medewerkers, leerlingen en hun ouders te ontmoeten, en om zich door al die betrokkenen te *laten* ontmoeten. Ook voor de schoolleider horen bij die houding de kennis en vaardigheden die nuttig zijn om in interacties op ontmoetingen aan te kunnen sturen.

In de tweede plaats is het ook voor schoolleiders van belang dat zij organisatorische kennis en vaardigheden kunnen inzetten om *ruimte* voor dialoog en ontmoeting te organiseren.

Nu hiermee de eerste richtvraag beantwoord is, kom ik toe aan de tweede richtvraag (pagina 49). Toegepast op de schoolleider luidt deze: *Hoe kan een schoolleider, als (ped)agogisch leider, daarna het leren van zingevende ervaringen bij de leerlingen van zijn school verder ondersteunen?*

Hierboven heb ik betoogd dat de schoolleider op twee manieren zorg kan dragen voor de inspiratie van leerlingen:

1. Op een directe manier, in directe ontmoetingen met leerlingen. De schoolleider functioneert dan voor de leerlingen op een wijze die vergelijkbaar is met een leraar.
2. Op een indirecte manier, door het inspireren van leraren (en oop) om er zorg voor te leren dragen dat zij leerlingen inspireren.

Wanneer ik de tweede vraag nu op de eerstgenoemde directe manier zou toepassen, dan zou ik kunnen volstaan met een herhaling van de antwoorden die ik hierboven al gegeven heb onder de noemer van het pedagogisch leiderschap van leraren. Daarom lijkt het mij beter om de tweede vraag toe te passen op de indirecte manier. De vraag wordt dan:

⁴⁸ Soms zullen leraren of oop ook een confronterend gebrek aan commitment bij hun schoolleider ervaren. Wanneer dergelijke negatieve ervaringen sterk overheersen, dan zal het vanuit hun positie erg moeilijk zijn om daar iets aan te veranderen. Wanneer er ook positieve ervaringen tegenover staan dan kan het mogelijk zijn dat medewerkers zich niet laten ontmoedigen maar geïnspireerd worden om authentiek en constructief confronterende feedback aan de schoolleider te geven.

Hoe kan een schoolleider, als (ped)agogisch leider, daarna het leren van zingevende ervaringen bij de leraren⁴⁹ van zijn school verder ondersteunen?

Met andere woorden: aangenomen dat leraren geïnspireerd zijn, wat kan de schoolleider dan verder bijdragen aan hun vorming?

1. Hij kan eraan bijdragen dat hun inspiratie opnieuw gevoed wordt. Een goede manier daarvoor komt vaak neer op het organiseren van onderlinge ontmoetingen tussen leraren waarin zij hun essentiële inspiraties en frustraties kunnen uitwisselen. Dergelijke bijeenkomsten kunnen hen inspireren om met nieuwe moed en nieuwe ideeën zodanig vorm te geven aan hun werk met de leerlingen, dat zij de kans lopen om in dat werk opnieuw geïnspireerd te worden.
2. Hij kan eraan bijdragen dat hun vormgevingsvermogen, en hun mogelijkheden binnen de schoolorganisatie, verbeterd worden met behulp van alles wat daarvoor nuttig is. Hij kan hen stimuleren om zich kennis, vaardigheden, technieken en instrumenten eigen te maken, en hij kan binnen de schoolorganisatie bijdragen aan het scheppen van voorzieningen die vorming-ondersteunende werkvormen beter mogelijk maken. Kortom: hij kan het voortouw nemen in het realiseren van alle voorwaarden die nuttig zijn voor het praktisch realiseren en verbeteren van de ondersteuning die leraren aan de vorming van hun leerlingen kunnen bieden. Ook voor leraren is deze ondersteuning van niet te onderschatten betekenis. Ook zij kunnen zó ontmoedigd worden door een tekort aan vermogens en aan voorzieningen, dat zij hun inspiratie kunnen verliezen. En omgekeerd, kan de ervaring van toegenomen competentie, in combinatie met nuttige voorzieningen in de school, er in belangrijke mate aan bijdragen dat hun inspiratie duurzaam wordt. Het gaat zelfs om meer dan duurzaamheid. Een meer competente vormgever kan door meer complexe uitdagingen geïnspireerd worden, uitdagingen waartoe hij daarvoor niet geïnspireerd kon worden omdat zij buiten zijn bereik lagen. Een leraar die bijvoorbeeld geleerd heeft hoe en wanneer hij de leerlingen op zinvolle wijze in groepen kan laten samenwerken, kan op basis daarvan toekomen aan een volgende uitdaging: het laten voorbereiden van een 'project' of excursie door de leerlingen zelf. Met andere woorden: de leraar kan toekomen aan zijn 'zone van naaste ontwikkeling' (Vygotsky, 1978). Deze vorm van ondersteuning vraagt van de schoolleider om maatwerk. Hij moet rekening houden met de ontwikkelingsfase van de individuele leraren en van de leraren-teams, en precies datgene aanbieden dat hen stimuleert en helpt om de drempel naar een volgende fase van hun ontwikkeling te overschrijden.
3. Wanneer de schoolleider opmerkt dat leraren (individueel of als team) een zone van naaste ontwikkeling in hun vorming als pedagogische leiders bereiken, kan hij het initiatief nemen om (samen met hen) te zoeken naar mogelijkheden om vorm te ge-

⁴⁹ Ik concentreer mij in het vervolg op de leraren, met weglating van het oop, omdat zij de eerstverantwoordelijken zijn voor het onderwijs aan en de vorming van leerlingen.

ven aan situaties waarin zij op een hoger niveau uitgedaagd en geïnspireerd kunnen worden. Zodoende zal hij ook zelf geïnspireerd worden om de vorming-ondersteunende kwaliteit van de school als geheel op een hoger plan te brengen. Met andere woorden: hij zal geïnspireerd worden om te ondersteunen dat de school als geheel zijn zone van naaste ontwikkeling bereikt.

Het (ped)agogisch leiderschap van opleiders van schoolleiders

De zorg die schoolleiders aan hun eigen vorming kunnen besteden kan makkelijk in het gedrang komen onder de druk van hun verantwoordelijkheden voor de vorming van de schoolgemeenschap als geheel, voor de vorming van leraren en oop, en voor de vorming van de leerlingen van hun school.

Daarom is het een goede zaak dat er opleidingen zijn die de vorming van schoolleiders ondersteunen. Dergelijke opleidingen bieden een onderwijssituatie waarin de betrokken schoolleiders geen eindverantwoordelijkheden dragen, en zodoende meer ruimte krijgen om zich op hun eigen vorming te concentreren.

Bij een dergelijke opleiding nemen de opleiders het type leiding dat de schoolleiders in hun eigen school zelf dragen. Zij nemen de eerste verantwoordelijkheid voor het vorm geven aan de opleiding als leersituatie, om ervoor te zorgen dat de schoolleiders zich in deze situatie optimaal op hun *eigen* leer- en vormingsprocessen kunnen concentreren, zonder zich teveel zorgen te hoeven maken over de opleiders, de opleiding, de werorganisatie, de groepsvorming, de samenwerking, of de kwaliteit van dit alles. Het leiderschap van opleiders impliceert dus dat zij de vorming van de deelnemende schoolleiders ondersteunen, zonder een gelijke ondersteuning van hun eigen vorming daarvoor terug te verwachten. Daarbij hebben de opleiders gewoonlijk geen contacten met de leerlingen waar het uiteindelijk om gaat. Daarom is het de vraag of het leiderschap van opleiders wel als 'pedagogisch' getypeerd kan worden. Zij richten zich immers uitsluitend op de vorming van volwassenen. Aan de andere kant kan deze typering misschien toch met een zeker recht ook aan de opleiders toekomen, wanneer zij zich, bij hun ondersteuning van de betrokken schoolleiders, kunnen voorstellen "*dat het functioneren van een schoolleider als deelnemer binnen een opleiding, een zodanige invloed heeft op zijn identiteitskenmerken, dat hij in zijn school beter gaat functioneren als pedagogische leider*" (pagina 34). En, wanneer zij zich door die voorstellingen laten leiden in hun opleidingswerk. Met andere woorden: het leiderschap van opleiders kan toch ook 'pedagogisch' genoemd worden wanneer zij antwoorden zoeken op de vraag die ook richting geeft aan deze studie, erop uit zijn om de kwaliteit van die antwoorden voortdurend te verbeteren, en erop uit zijn om met behulp van de kennis die zij zodoende verwerven hun opleiding steeds verder te verbeteren.

Uit de voorafgaande uitwerking van de begrippen 'identiteit', 'vorming', 'ondersteuning' en 'pedagogisch leiderschap' zijn nu enkele algemene conclusies af te leiden over de manieren waarop opleiders van schoolleiders zich in principe bovengenoemde voorstellingen kunnen verwerven en de kwaliteit van deze voorstellingen kunnen verbeteren.

1. De opleiders moeten nagaan of er bij de schoolleiders, in de werksituatie van hun eigen school, (de kiem van) een authentiek⁵⁰ commitment is ontstaan met de vorming van hun leerlingen. Bij afwezigheid van leerlingen kan een dergelijk commitment in de context van de opleiding immers niet ontstaan⁵¹, en dit moet er dus al zijn wil het voor opleiders mogelijk zijn om de ontwikkeling van pedagogisch leiderschap te kunnen ondersteunen.
2. De opleiders moeten voorstellingen ontwikkelen van de manieren waarop hun opleiding dit commitment, als identiteitskenmerk van de schoolleiders, kan versterken⁵², en kan helpen om het verder te ontwikkelen. Zij kunnen deze voorstellingen verbeteren door hen –waar mogelijk- te formuleren als onderzoeksmatig toetsbare hypothesen, die toetsingen uit te voeren, en door, op basis daarvan, verbeterde of nieuwe voorstellingen te ontwikkelen.
3. De opleiders moeten ook kennismaken van de voorstellingen die de schoolleiders zelf met zich meedragen (in de container van hun identiteit) van de verschillende manieren waarop zij als schoolleider effectief kunnen bijdragen aan de vorming-ondersteunende kwaliteit van hun school. Het is immers op basis van vertrouwen in de kwaliteit van deze voorstellingen⁵³ dat de opleiders erop vertrouwen kan dat de schoolleider zijn doen en laten baseert 'op goede gronden', en zodoende een goede kans maakt om te bereiken wat hij beoogt.
4. Op grond daarvan kunnen de opleiders weer voorstellingen ontwikkelen van de manieren waarop de opleiding eraan bij kan dragen dat de schoolleiders hun voorstellingen-van-zaken op pedagogisch gebied leren verbeteren (onder andere door het verwerven van onderzoeks-vaardigheden).
5. Door waarneming (binnen de opleiding) en kennisname (via rapportages) moeten de opleiders zicht hebben op de inzet van de betrokken schoolleiders om als pedagogische leiders hun handelingscompetenties te verbeteren en te verrijken, inclusief hun bereidheid om zich op dit punt kritisch te (laten) toetsen.
6. Op grond daarvan kunnen de opleiders zich voorstellingen ontwikkelen van de manieren waarop de opleiding dit competentieeleren kan stimuleren en ondersteunen. En, uiteraard, moeten zij ook deze voorstellingen kritisch toetsen en verbeteren.

⁵⁰ 'Authentiek' impliceert in dit verband dat dit commitment tot de identiteitskenmerken van de betrokken schoolleider behoort, dat wil zeggen dat dit kenmerk niet verdwijnt (omdat het een puur functioneel kenmerk is) zodra de schoolleider in een andere context functioneert.

⁵¹ Omdat daar concrete ontmoetingen voor nodig zijn.

⁵² En eveneens hoe elementen van een opleiding, als onbedoeld neveneffect, de ontwikkeling van dit commitment kunnen tegenwerken.

⁵³ Essentieel voor de kwaliteit van die voorstellingen –die men ook als 'inzicht' kan benoemen- is het toelaten van vragen, twijfels en besef van ontbrekend inzicht.

De bovenstaande algemene formulering van conclusies vraagt om concretisering. Aan de hand van een voorbeeld zal ik nu illustreren hoe deze praktische realisering er uit kan zien. Daarbij put ik uit ervaringen van opleiders (waartoe ikzelf ook behoorde) die zich inderdaad voorstellingen maken van de manieren waarop zij identiteitsontwikkeling van schoolleiders kunnen ondersteunen in een (ped)agogische richting. Waar het echter in de meeste gevallen aan ontbreekt, is het ontwikkelen van een coherent conceptueel kader, dat in staat stelt om in dit verband impliciete hypothesen te expliciteren en passend onderzoek te ondernemen, en dat zodoende in staat stelt om zinvol gebruik te maken van relevante onderzoeksuitkomsten.

Stel dat één van de schoolleiders, die aan een opleiding deelneemt, zich met zijn school aangesloten heeft bij het programma "De Vreedzame School"⁵⁴. Dit programma omvat onder andere lessenseries voor alle leerlingen over burgerschap en het omgaan met conflicten. Enkele leerlingen worden opgeleid tot mediator. Van hen wordt verwacht dat zij bij conflicten in de klas of op het schoolplein hun medeleerlingen kunnen helpen om een conflict op te lossen. De praktische realisering van de zes conclusies kan er dan als volgt uitzien:

1. De opleiders kunnen organiseren dat de betrokken schoolleider uitgenodigd wordt om te vertellen hoe hij leerlingen zich ziet ontwikkelen onder invloed van dit programma, en bijvoorbeeld hoe hij met name de leerling-mediatoren zich ziet ontwikkelen. Daarbij kan gevraagd worden of hij het ook ziet gebeuren (en waaraan hij het ziet) dat leerling-mediatoren geïnspireerd worden om hun rol meer dan plichtmatig op te pakken en zich persoonlijk met die rol verbinden. Daarbij hoort ook de vraag of, en hoe, hij zelf geïnspireerd wordt (positief of negatief) door het ontluiken, of door het missen, van creatief vormgeverschap bij leerlingen, en welke gevolgen dit voor zijn handelen als schoolleider heeft.

Vervolgens (of eraan voorafgaand) kan gevraagd worden hoe zijn betrokkenheid bij dit programma past in zijn eigen biografie. Hoe past dit bij zijn eigen ontwikkeling in het leren waarderen (positief en negatief) van verschillende manieren om met conflicten om te gaan? Heeft hij zelf ervaringen opgedaan die hem inspireerden om beter met conflicten te willen omgaan, en om dat ook te leren? Welke ervaringen waren dat, en wat heeft hij er daarna van geleerd? Heeft hij ook ervaring opgedaan in het bemiddelen bij conflicten, en wat heeft hij daar tot nu toe van geleerd? En, wat heeft hij persoonlijk op dit gebied nog bijgeleerd door de deelname van zijn school aan het programma "De Vreedzame School"?

In de derde plaats kan gevraagd worden hoe hij – als schoolleider – de deelname aan dit project ziet passen in de biografie van de school. Welke geschiedenis heeft de school doorgemaakt op het gebied van ruzies en conflicten? Heeft ook die geschiedenis ervaringen opgeleverd die zowel hem als een aantal leerkrachten inspireerden

⁵⁴ Zie www.devreedzameschool.net.

om conflicten beter te willen oplossen, en om dat niet alleen aan leerlingen te willen overbrengen, maar het ook zelf te willen leren? Met andere woorden: komt dit project op een goed moment in de ontwikkeling van de school, en wat kan het voor de schoolontwikkeling betekenen?

2. De opleiders kunnen (op grond van activiteiten zoals de bovenstaande) bijvoorbeeld bedenken dat het een goede zaak is wanneer de deelnemers ieder een project of een ontwikkeling van hun school benoemen, waar zij verantwoordelijkheid voor dragen, en waar zij zich 'con amore' mee verbonden voelen. Vervolgens kunnen zij het persoonlijke leerproces gedurende de opleiding rond een dergelijk project of aspect van schoolontwikkeling benoemen als '*de ontwikkeling van mijn Historische Missie*'⁵⁵. Ten behoeve van dit proces kunnen in de opleiding allerlei activiteiten georganiseerd worden zoals: het vertellen, het opschrijven, het bespreken in een intervisiegroep, het verwerken van feedback, het opdoen van nuttige kennis en vaardigheden, het documenteren van ervaringen, het experimenteren met nieuw gedrag, het herformuleren van de Historische Missie, et cetera.

Daarbij zou het voor de opleiders van belang zijn om de aannames, die impliciet of expliciet doorwerken in hun ontwikkelwerk aan dit aspect van de opleiding, en die doorwerken in hun interacties met de deelnemers hierbij, zo goed mogelijk onderzoekbaar te maken en ook te toetsen. In de praktijk komen zij echter niet of nauwelijks toe aan de fundamentele reflecties en aan het onderzoekswerk dat daarvoor nodig is.

3. De opleiders vormen zich bij deze activiteiten ook een beeld van de voorstellingen die de schoolleider zelf koestert over de manieren waarop hij denkt dat hij aan de realisering van zijn Historische Missie kan bijdragen. Waar nodig kunnen zij (in aanvulling op wat mede-deelnemers al aandragen) bijdragen aan correctie, nuancering en verbetering van deze voorstellingen. Wanneer een schoolleider die deelneemt aan "De Vreedzame School" zich bijvoorbeeld onvoldoende realiseert dat een dergelijk project alleen goed aan zijn bedoelingen kan beantwoorden (zoals uit onderzoeksliteratuur blijkt) wanneer de school zichzelf dit project toe-eigent en er maatwerk van maakt, dan kan hier vanuit de opleiding aandacht aan besteed worden.
4. In het verlengde daarvan kan de opleiding de schoolleiders stimuleren en bekwalen om kennis te nemen van relevante literatuur en zelf onderzoek te initiëren om na te gaan of de vorm die aan een dergelijk project in de eigen school gegeven wordt, ook functioneert overeenkomstig de bedoelingen.

Daarbij zullen de opleiders bijvoorbeeld zelf uitgaan van de voorstelling, dat schoolleiders eerst zelf 'aan den lijve' moeten ondervinden wat het mooie en wat het moeilijke van een praktijkgericht onderzoeksproces is; om vervolgens leiding te kunnen geven aan de ontwikkeling van een onderzoeksmatige cultuur in de school;

⁵⁵ Dit is de naam die een soortgelijk proces bij de opleidingen voor schoolleiders van het Centrum voor Nascholing te Amsterdam (CNA) kreeg.

om hun leraren te kunnen stimuleren en ondersteunen bij het opzetten en uitvoeren van praktijkonderzoek; en om een kritische opdrachtgever te kunnen zijn voor extern onderzoek.

5. Ook het engagement om zichzelf tot een *betere* pedagogische leider te ontwikkelen moet in principe bij de betrokken schoolleider al aanwezig zijn om het vanuit de opleiding te kunnen ondersteunen. De hierboven onder 1. genoemde werkvormen (met name het derde deel) kunnen aan de opleiders al een beeld geven van dit engagement. In aanvulling daarop zal het voor hen belangrijk zijn om te zien dat, en hoe, de schoolleider bereid is om zich in te spannen voor het verwerven van nuttige kennis en vaardigheden, om zodoende een meer competente pedagogische leider te worden.

Hiermee ben ik uitgekomen bij het thema van de zone van naaste ontwikkeling van de schoolleider. Op dit thema zal ik verderop nog terugkomen (zie pagina 69).

6. Ook op de vraag hoe opleiders zich voorstellingen kunnen ontwikkelen van de manieren waarop zij het bereiken van een zone van naaste ontwikkeling kunnen ondersteunen, kom ik in dat verband nog terug.

Ook voor de opleiders zal gelden dat het ondersteunen van de vorming van schoolleiders maar één aspect van hun leiderschap is. Van al die andere aspecten wil ik hier alleen één bijzonder aspect van het inhoudelijk leiderschap van de opleiders noemen. Dit leiderschap betreft het gebruik maken van de 'dubbele bodem' van de opleidings situatie. Met deze 'dubbele bodem' wordt bedoeld dat de opleiding zelf ook voorbeelden laat zien van de interventies waarin de deelnemers bekwaamd worden. Interventies, waarbij de deelnemers in de opleiding niet de actor, maar het voorwerp van die interventies zijn. In het geval van ondersteuning van vorming betekent de dubbele bodem dat de opleiding voorbeelden laat zien van de ondersteuning van vorming bij de deelnemende schoolleiders. Opleiders die naast hun gepraktiseerde ondersteuning, in meta-reflecties, inzicht geven in de manieren waarop zij als opleiders de vorming van de deelnemende schoolleiders ondersteunen, kunnen de schoolleiders 'dubbel' helpen om zicht te krijgen op de manieren waarop zijzelf in hun eigen school vorming kunnen ondersteunen.

Een nog te noemen facet van deze dubbele bodem is ook, dat de manieren waarop de opleiders *onderzoek* inzetten, om hun ondersteuning van de vorming van de schoolleiders te verbeteren, de schoolleiders kan helpen om zelf ook manieren te ontdekken waarop zij op hun eigen scholen dergelijk onderzoek kunnen inzetten (of stimuleren)⁵⁶.

⁵⁶ Het is daarom temeer jammer, en een gemiste kans, dat opleiders daar zo weinig aan toekomen. Het is ook begrijpelijk dat opleiders daar weinig aan toekomen, zowel vanwege de druk die resulteert uit de noodzaak om zich in de 'onderwijsmarkt' te handhaven, als vanwege de complexiteit van het onderzoekbaar maken van deze ondersteuning (zie hierna § 4.b).

Tenslotte: ook voor het leiderschap van opleiders geldt dat hun 'gezag' voor de deelnemende schoolleiders zal berusten op de kwaliteit van de integratie van de diverse aspecten van hun leiderschap.

Op grond van bovenstaande kan ik nu terugkomen op de twee richtvragen aan het eind van de vorige paragraaf. Toegepast op de opleider luidt de eerste vraag: *Hoe kan een opleider, als pedagogisch leider, ondersteunen dat leerlingen op de scholen van de deelnemende schoolleiders geïnspireerd worden?*

In antwoord hierop moet allereerst nagedacht worden over de indirectheid van de invloed op de vorming van leerlingen, die voor een opleider nog veel groter is dan voor de schoolleider. De opleider moet het ondersteunen van leerlingen overlaten aan hun leraren, de ondersteuning van leraren aan hun schoolleiders, en pas in de ondersteuning van een schoolleider kan hij een bijdrage geven. Een vergelijkbare keten is op te merken aan de bronnen, waar het creatieve vormgeverschap de meeste inspiratie aan ontleent. De opleiders moeten vooral geïnspireerd worden door de vorming die zij bij schoolleiders zien, de schoolleiders vooral door de vorming die zij bij leraren zien, en de leraren door de vorming die zij bij leerlingen zien.

Maar, zoals al eerder werd betoogd (pagina 58), is die indirectheid niet voldoende, en kan een agogisch leider zich pas goed vormen tot *pedagogisch* leider op basis van directe inspiratie door ontmoetingen met leerlingen. Betoogd werd dat de schoolleider ontmoetingen met leerlingen nodig heeft 'om te beseffen waar het in zijn werk om gaat'. Naar analogie daarvan is het nu de vraag wat dit betekent voor opleiders. Hoe moeten zij geïnspireerd worden om hun agogische ondersteuning van schoolleiders meer te doen zijn dan een doel-in-zichzelf, en om die ondersteuning ook werkelijk te richten op de leerlingen waar het om gaat?

Een eerste antwoord op deze vraag ontleen ik aan een onderzoek door Marco Snoek (2014). In dit onderzoek kwam een vergelijkbare vraag op, voor het geval van een (post-initiële) opleiding van leraren, en de rol van de opleiders van een dergelijke opleiding. Het is zijn conclusie dat de interactie tussen een opleiding en een school, als verschillende activiteitssystemen, in sterkere mate ten goede zal komen aan de school en aan de leerlingen, wanneer zowel meer mensen uit de school zich met de opleiding gaan bemoeien, alsook opleiders de school ingaan om zich bij de ontwikkeling van de school te laten betrekken (2014, p. 122)⁵⁷. Het lijkt mij dat deze conclusie direct vertaald kan worden naar opleiders van schoolleiders. Het is niet gebruikelijk, maar het zal ook voor

⁵⁷ Uit Snoeks onderzoek bleek echter ook dat veel opleiders onwillig waren om zich met de school in te laten (2014, pp. 156, 174). Hij vermoedt dat deze onwilligheid de uiting is van een 'mentaal model', dat hij benoemt als 'het transfer-model', waardoor men voor vanzelfsprekend houdt dat de opgave om te leren met name ligt aan de kant van opleiding-deelnemers en hun scholen, en niet van toepassing is op opleiders en hun 'hogere onderwijs instituten' (2014, pp. 169-171).

de focus van deze opleiders een goede zaak zijn wanneer zij ook zelf de scholen van hun deelnemers ingaan, daar ook leerlingen ontmoeten, en zich ter plekke laten voeden in het besef van 'waar het uiteindelijk om gaat'. Ook voor deze ontmoetingen geldt uiteraard dat het niet gaat om de kwantiteit maar om de kwaliteit (pagina 58).

In aanvulling daarop zijn ook vormen van indirecte inspiratie voor de opleiders van groot belang. De opleiders kunnen indirect geïnspireerd worden door verhalen van de deelnemende schoolleiders, waarin zij hun inspiratie (positief of negatief) met betrekking tot de vorming van hun leerlingen tot uitdrukking brengen⁵⁸. Wanneer deze opleiders bovendien in een andere werksituatie zelf een commitment met de vorming van (andere) leerlingen of studenten hebben ontwikkeld, als deel van hun professionele identiteit, dan lijkt het mij mogelijk dat zij door verhalen van schoolleiders over de vorming van hun leerlingen werkelijk geïnspireerd kunnen worden. Omdat zij zelf, in een andere context, een commitment met leerlingen of studenten hebben ontwikkeld, kunnen zij ook de 'pedagogische inspiratie' van de schoolleiders als inspiratie herkennen en daardoor op hun beurt geïnspireerd worden. Maar, het is dan ook van belang dat de situaties waarin dergelijke verhalen, in opleidingsverband, bij schoolleiders worden opgeroepen het karakter van een ontmoeting krijgen.

Het lijkt mij eveneens plausibel om aan te nemen dat de situaties, waarin de schoolleiders worden uitgenodigd om te vertellen hoe zij geïnspireerd worden door de vorming van hun leerlingen (en door de wijze waarop leraren en de schoolorganisatie die vorming ondersteunen) ook voor de schoolleiders een bevestiging en zodoende een versterking van hun inspiratie kunnen betekenen. Net zoals ik eerder betoogde dat het uitwisselen van inspirerende verhalen de vorming van leraren in pedagogisch leiderschap kan ondersteunen (pagina 60), zo kan ook het uitwisselen van inspirerende verhalen tussen schoolleiders hun vorming in pedagogisch leiderschap ondersteunen.

Een ander argument voor het inruimen van een belangrijke plaats voor dergelijke uitwisselingen in het kader van een opleiding is de al eerder genoemde inhoudelijk opbrengst voor de voorstellingen (zie pagina 61) die zowel de opleiders als de schoolleiders nodig hebben om zich een beeld te kunnen vormen van de samenhang tussen de opleiding en de uiteindelijke vormings-opbrengst voor leerlingen.

Uit de hier genoemde argumenten kan ook een negatieve conclusie afgeleid worden: Wanneer in een opleiding niet of nauwelijks plaats wordt ingeruimd voor het uitwisselen van dergelijke inspirerende (c.q. zingevende) ervaringen met de vorming van leerlingen, dan kan een dergelijke opleiding niet met recht pretenderen dat zij een opbrengst beoogt die uiteindelijk ten goede komt aan de vorming van leerlingen.

⁵⁸ Zoals ik zelf als opleider geïnspireerd werd door het verhaal over het diplomeringsritueel, dat ik in het eerste hoofdstuk beschreef (pagina 16 e.v.).

De antwoorden op de eerste richtvraag kunnen nu samengevat worden. Een opleider kan eraan bijdragen dat leerlingen op de scholen van de deelnemende schoolleiders geïnspireerd worden door:

- ontmoetingen (ook al is het in beperkte mate) met deze leerlingen in hun school-situatie, zodat ook de opleider direct geïnspireerd kan worden door hun vorming, en zich daarvan levensechte voorstellingen kan maken;
- zich daarnaast te concentreren op het kundig⁵⁹ vormgeven aan situaties binnen de opleiding waarin de schoolleiders elkaar kunnen ontmoeten en inspireren;
- meta-reflecties op dit kundig vormgeven te initiëren, zodat schoolleiders daarvan 'dubbel' kunnen profiteren;
- zich in te zetten voor verbetering van de vorming-ondersteunende kwaliteit van de opleiding als geheel;
- en daarbij modellen van onderzoeksmatige verbetering van kansen op vorming te laten zien, zodat schoolleiders ook daarvan dubbel kunnen profiteren voor de ontwikkeling van een 'onderzoekscultuur' in hun school;
- werk te maken van zijn eigen vorming, en zelf ook een model van niet-imiterbare authenticiteit te zijn.

Nu hiermee de eerste richtvraag beantwoord is, kom ik toe aan de tweede richtvraag (pagina 49). Toegepast op de opleider luidt deze: *Hoe kan een opleider, als pedagogisch leider, daarna het leren van zingevende ervaringen bij de leerlingen van de scholen van de deelnemende schoolleiders verder ondersteunen?*

Voor het antwoord op deze vraag geldt in versterkte mate dat de opleider de vervolgondersteuning van de vorming van leerlingen moet overlaten aan anderen. Hij moet die overlaten aan de schoolleiders, die op hun beurt deze vervolgondersteuning voor het grootste deel weer aan hun leraren moeten overlaten.

Daarom moet ik deze vraag hier herformuleren tot: *Hoe kan een opleider, als pedagogisch leider, daarna het leren van zingevende ervaringen bij de schoolleiders die aan zijn opleiding deelnemen verder ondersteunen?*

Met andere woorden: aangenomen dat de schoolleiders geïnspireerd zijn, wat kan de opleider dan verder bijdragen aan hun vorming in pedagogisch leiderschap?

1. Hij kan eraan bijdragen dat hun inspiratie opnieuw gevoed wordt. Zoals ik hierboven al noemde kan de opleiding plaats inruimen voor het uitwisselen van (positief en negatief) inspirerende ervaringen. Voor de deelnemers blijken daarbij de onderlinge uitwisselingen met collega-schoolleiders vaak belangrijker dan uitwisselingen met opleiders. Schoolleiders ervaren hun verantwoordelijke positie in de school vaak als betrekkelijk eenzaam, en komen ook, onder andere onder de druk van hun verant-

⁵⁹ De kundigheid die eerder, voor het geval van leraren (pagina 53) en van schoolleiders (pagina 59), al een enigszins nadere uitwerking kreeg.

woordelijkheden, vaak niet aan fundamentele collegiale uitwisselingen toe (ook al organiseren zij dergelijke uitwisselingen dan soms wel voor hun medewerkers). Uitwisselingen met 'lotgenoten', in de setting van een opleiding, blijken vaak tegemoet te komen aan een sterke behoefte. Deze uitwisselingen kunnen hen stimuleren om in de school bewuster de situaties op te zoeken (of te organiseren) die hen zelf inspireren, of om met nieuwe moed en nieuwe ideeën met de situaties om te gaan die hen frustreren.

2. Op grond van zijn kennisname van de mate waarin, en de manieren waarop, de schoolleider al geïnspireerd is tot het vorm geven aan pedagogisch leiderschap, kan een opleider aan het werk gaan. Hij kan vormgeven aan zijn eigen interventies in de richting van de schoolleider, en (in samenwerking met collega-opleiders en met de deelnemers zelf) allerlei werk- of spelvormen, materialen, hulpbronnen, coaching, et cetera ontwikkelen en inzetten, die eraan bijdragen dat het vormgevingsvermogen van de betrokken schoolleider verbeterd wordt met behulp van alles wat daarvoor nuttig is. Ook voor schoolleiders is deze ondersteuning van niet te onderschatten betekenis. Ook zij kunnen zó ontmoedigd worden door een tekort aan competenties, of zó vastlopen in interactiepatronen en 'tunnelvisies', dat zij hun inspiratie verliezen. En omgekeerd, kan de ervaring van toegenomen competentie, in combinatie met het zien van nieuwe organisatie- en handelingsalternatieven, er in belangrijke mate aan bijdragen dat hun inspiratie duurzaam wordt. Het gaat opnieuw om meer dan duurzaamheid. Een meer competente schoolleider kan door meer complexe uitdagingen geïnspireerd worden. Uitdagingen waartoe hij daarvoor niet geïnspireerd kon worden omdat zij buiten zijn bereik lagen. Een schoolleider die bijvoorbeeld samen met zijn team geleerd heeft in welke mate en hoe de leerlingen zelfstandiger kunnen werken, kan op basis daarvan toekomen aan een volgende uitdaging: het leiding geven aan de gezamenlijke ontwikkeling van een vorming-ondersteunend 'open leercentrum', als katalysator voor verdere ontwikkeling van het pedagogische beleid van de school. De schoolleider kan zodoende toekomen aan zijn zone van naaste ontwikkeling. Deze vorm van ondersteuning vraagt van de opleider om maatwerk. Hij moet rekening houden met de ontwikkelingsfase van de individuele schoolleiders, en precies datgene aanbieden dat hen stimuleert en helpt om de drempel naar een volgende fase van hun ontwikkeling te overschrijden.
3. Wanneer de opleider opmerkt dat deelnemende schoolleiders een zone van naaste ontwikkeling in hun vorming als pedagogische leiders bereiken, kan hij het initiatief nemen om (samen met hen) te zoeken naar de mogelijkheden om vorm te geven aan situaties waarin zij op een hoger niveau uitgedaagd en geïnspireerd kunnen worden. Zodoende zal hij ook zelf geïnspireerd worden om de vorming-ondersteunende kwaliteit van de opleiding op een hoger plan te brengen. Met andere woorden: om te ondersteunen dat ook de opleiding zijn zone van naaste ontwikkeling bereikt.

Nu hiermee een eerste vorm aan een conceptueel kader is gegeven, door een nadere bepaling van centrale concepten, kunnen nu enkele cruciale problemen benoemd wor-

den die, door middel van de te ondernemen verkenningen, dichterbij een oplossing gebracht moeten worden.

4 PROBLEMEN

In het licht van het voorafgaande kan het doel van deze studie nu ook in andere woorden geformuleerd worden dan in het eerste hoofdstuk (pagina 17): *deze studie beoogt een bijdrage te geven aan verbetering van schoolleidersopleidingen, door verkennend te onderzoeken of men zich toetsbare voorstellingen kan vormen van de wijze waarop ondersteuning van de vorming van schoolleiders, in het kader van een opleiding, uiteindelijk ten goede kan komen aan de vorming van leerlingen.*

Uit de voorafgaande beschrijving bleek al dat opleiders in de praktijk wel in staat zijn om een creatieve vorm te geven aan hun ondersteuning van de vorming van schoolleiders, maar er in het algemeen niet aan toe komen om de effectiviteit van hun ondersteuning kritisch te toetsen, en op grond van toetsings-uitkomsten te verbeteren⁶⁰. Dat opleiders niet aan dergelijke toetsing en verbetering toekomen is niet alleen te wijten aan werkdruk, maar ook aan de moeilijkheid van de problemen⁶¹, die opgelost moeten worden om de effectiviteit van dergelijke interventies onderzoekbaar te maken.

In deze paragraaf zal nu een eerste verkenning ondernomen worden van de problemen, die toetsend onderzoek naar '(ped)agogische effectiviteit' moeilijk maken.

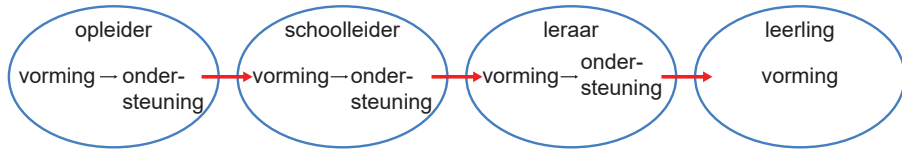
4.a Schakelprobleem

Vanuit het perspectief van pedagogische opleiders is het gegeven, dat hun bijdrage aan kansen op vorming voor leerlingen via zoveel tussenschakels moet verlopen, een belangrijk aspect van de problematiek. In de volgende figuur wordt dit 'schakelprobleem' in beeld gebracht.

⁶⁰ Zie het op pagina 64 beschreven idee om aan schoolleiders te vragen hun *Historische Missie* te formuleren, en om de ervaringen die zij opdoen bij het ontwikkelen en realiseren van die *HM* tot essentieel leer materiaal voor hun opleiding te bestempelen. Een bijkomend gevolg van de problematische onderzoekbaarheid is, dat de opleiding aan schoolleiders geen voorbeelden laat zien die hen zouden kunnen inspireren om ook op hun school de ondersteuning van vorming kritisch te toetsen en te verbeteren (zie voetnoot 56 op pagina 65).

⁶¹ De term 'problemen' moet hier vooral verstaan worden in de zin van het Engelse '*problems*', dat wil zeggen: interessante kwesties die om een oplossing vragen.

Figuur 4



In deze figuur wordt de keten van schakels voorgesteld als een keten van vorming en ondersteuning. Dit beeld berust op het hiervoor gepresenteerde vermoeden, dat het ontmoeten van 'modellen' van authentiek vormgeverschap, in leiders die eenzijdig verantwoordelijkheid nemen om anderen daarin te ondersteunen, steeds een essentieel element van de ondersteuning van vorming is. De keten is, zo gezien, een keten waarin authentiek vormgeverschap als waarde, steeds aan een volgende schakel wordt doorgegeven, via bewuste ondersteuning. Het schakelprobleem kan nu geformuleerd worden in de vorm van vragen die een opleider moet beantwoorden om stappen te zetten in de richting van toetsing en verbetering:

- Hoe kan ik werk maken van mijn eigen vorming, zodat ik geïnspireerd en bekwaamd word om schoolleiders (beter) in hun vorming tot en als pedagogische leiders te ondersteunen?
- Hoe kan ik mij voorstellen dat de ondersteuning, die onze opleiding en mijn persoonlijke interacties bieden, deze schoolleiders effectief in hun vorming tot en als pedagogische leiders ondersteunt; en hoe kan ik mij voorstellen dat de effectiviteit van deze ondersteuning getoetst en verbeterd wordt?
- Hoe kan ik mij voorstellen, dat ik erop vertrouwen kan dat de door onze opleiding ondersteunde schoolleiders effectief de leraren in hun vorming tot en als pedagogische leiders ondersteunen; en hoe kan ik mij voorstellen, dat ik erop vertrouwen kan dat de effectiviteit van die laatste ondersteuning ook getoetst en verbeterd wordt?
- Hoe kan ik mij tenslotte voorstellen, dat ik erop vertrouwen kan dat de aldus ondersteunde leraren de vorming van leerlingen effectief ondersteunen; en hoe kan ik mij voorstellen dat ik erop vertrouwen kan dat ook de effectiviteit van die laatste ondersteuning getoetst en verbeterd wordt?

4.b Gevolgrijkeitsprobleem

Een 'schakelprobleem' hoeft in principe voor onderzoek geen onoverkomelijk probleem te vormen. Onderzoekers zijn wel gewend aan ketens van oorzaken en gevolgen die behoorlijk ingewikkeld kunnen zijn. Indien nodig ontwikkelen zij ingewikkelde conceptuele modellen, met pijlen die aangeven welke variabelen gevolgen hebben voor welke andere variabelen. Hoe ingewikkeld ook, een dergelijk model geeft wel een voorstelling van de manieren waarop sommige kenmerken van een 'systeem' gevolgen kunnen hebben voor andere kenmerken. Een dergelijke voorstelling kan via onderzoek getoetst, gecorrigeerd en verbeterd worden. Op die manier kan gestreefd worden naar de hoge kwaliteit van voorstellingen-van-zaken die onderzoek ambieert.

Verrassende gevolgen

Waarom is het dan niet direct mijn volgende stap om een dergelijk conceptueel model te ontwerpen? De reden daarvoor is, dat *de manier waarop* ondersteuning met vorming samenhangt (de rode pijlen in figuur 4) niet overeenstemt met de gebruikelijke opvattingen van oorzakelijkheid (c.q. causaliteit).

De ondersteuning door een opleider is immers geslaagd wanneer deze de schoolleider helpt om zich tot een 'oorspronkelijke' vormgever te ontwikkelen, die zijn vormgeving niet geheel aan de ondersteuner of aan de ondersteuning ontleent, maar zelf verrassend nieuwe vormgevings-elementen ontwikkelt. Ditzelfde geldt voor de ondersteuning van de leraar door de schoolleider, en voor de ondersteuning van de leerling door de leraar. Bij iedere schakel is het de bedoeling dat de volgende schakel verrassend nieuwe bijdragen toevoegt. Een vorming-ondersteunende leraar, bijvoorbeeld, is tevreden in de mate waarin acties of producten van leerlingen kenmerken hebben die hem verrassen omdat hij die kenmerken niet kon voorzien of beogen als gevolgen van zijn ondersteuning. Het paradoxale van deze samenhang is, dat hij deze verrassende gevolgen met zijn ondersteuning wel beoogt, maar tegelijk beoogt dat deze gevolgen nieuwe elementen bevatten die hij niet als gevolgen van zijn ondersteuning kon voorzien. De ondersteunende leraar gaat ervan uit dat de samenhang tussen ondersteuning en vorming van dien aard is dat deze paradox daar logisch uit voortvloeit, en een essentiële indicatie is van de 'effectiviteit' van deze samenhang.

Bij gevolgen die voortkomen uit een 'gewone' oorzaak-gevolg samenhang is de ervaring van deze paradox juist een teken van onkunde en onbegrip. Wanneer een leraar bijvoorbeeld het gedrag van leerlingen wil bijsturen middels beloning en straf, is de achterliggende veronderstelling dat beloning een gewenste gedragsvorm versterkt en dat straf een ongewenste gedragsvorm vermindert. De gevolgen van beloning en straf zijn per definitie begrijpelijk vanuit de oorzaak, en niet verrassend. Wanneer de toepassing van beloning of straf wel verrassende gevolgen heeft, dan moet de conclusie zijn dat de leraar deze samenhang niet goed begrijpt of de kennis ervan niet goed toepast. Deze samenhang is van dien aard dat kennis ervan, en de juiste toepassing, het optreden van verrassingen vermindert of opheft⁶².

Dialog als paradigma

Het bestaan van dergelijke bijzondere 'oorzakelijkheid', zoals die tussen ondersteuning en vorming is wel al eerder voorwerp van intensieve reflectie geweest. Hierbij kan gedacht worden aan de filosofen die zich, sinds eind 19^e en begin 20^e eeuw, concentre-

⁶² Men kan natuurlijk tegenwerpen dat ook bij causale samenhangen 'toeval' voor verrassingen kan zorgen. Het verschil blijft, dat toeval bij dergelijke samenhangen het karakter heeft van 'betekenisloze ruis'. Toeval levert geen verrassende informatie op met betrekking tot kenmerken van de samenhang.

ren op dialogische relaties en interacties⁶³. De dynamiek van de *dialogoog*, wat men wel noemt een écht gesprek, is voor deze denkers het 'oermodel' (het paradigma) van deze bijzondere samenhang. Immers, ook een dialoog kenmerkt zich erdoor dat een vragsteller wel een antwoord oproept, en in die zin veroorzaakt, maar anderzijds het antwoord aan de oorspronkelijkheid van de ander overlaat en zich er graag door laat verrassen. Wanneer het antwoord niet verrassend is, en de vragsteller het antwoord ook zelf had kunnen bedenken, dan functioneert de dialoog niet zoals bedoeld. Een échte dialoog heeft immers de bedoeling dat de gesprekspartners elkaar verrijken met bijdragen die zij niet uit hun geïsoleerde zelf kunnen putten. De oorzaak-gevolg structuur van deze dynamiek is daarom verwant met de ondersteuning-vorming structuur die hier aan de orde is: het antwoord volgt in zekere zin wel uit de vraag, want het is een antwoord daarop, maar aan de andere kant wordt een gevolg beoogd dat door de vragsteller zelf niet te voorzien is. De vragsteller moet letterlijk het antwoord *afwachten*. Wanneer het antwoord eenmaal gegeven is kan er, voor de vragsteller, *achteraf* wel een 'logische' samenhang met de vraag aan het licht komen. Maar, dat komt dan omdat zijn horizon, zijn denkkader, of zijn logica, door het antwoord is verruimd. En dat is nu juist ook de bedoeling van een dialoog.

Het meest gangbare denken over onderzoeksmatige toetsing en verbetering sluit echter aan bij het 'gewone' concept van oorzakelijkheid (dat ik hier als 'causaliteit' benoem). Om op het spoor te komen van manieren waarop ook de samenhang tussen ondersteuning en vorming vatbaar voor toetsing en verbetering kan zijn zal ik in de delen II en III (hoofdstukken 9, 10, 16 en 17) de vergelijking met 'dialogische oorzakelijkheid' verder uitwerken.

Machine als paradigma

In de wereld van wetenschap en technologie hoort men echter ook stemmen die betogen dat zoiets als 'dialogische oorzakelijkheid' in feite niet bestaat en op illusies berust. Een belangrijke reden daarvoor is, dat wetenschappelijke disciplines die lange tijd gescheiden optrokken nu steeds meer aan elkaar beginnen te raken, en in elkaars vaarwater komen. Ik denk daarbij specifiek aan de 'geestes- of cultuurwetenschappen' aan de ene kant en de neurowetenschappen aan de andere kant. Voor mijn omschrijving van vorming greep ik terug op de titel van een boek uit de hoek van de wijsgerige antropologie, uit de zestiger jaren van de 20^e eeuw. In die tijd was het idee, dat men de mens kan zien als meer dan een 'product' (c.q. gevolg) van 'nature' en 'nurture', en dus ook als een creatieve schepper van cultuur, in de geesteswetenschappen betrekkelijk onomstreden. Afgezien daarvan was en is er ook zoveel maatschappelijke praktijk gebouwd op het fundamentele uitgangspunt dat een mens vrij is, en als oorsprong van zijn daden ook

⁶³ Als vroege vertegenwoordigers van de 'filosofie van de dialoog' kunnen Rosenzweig, Buber, Rosenstock en Marcel genoemd worden. In Theunissen (1965) wordt bijvoorbeeld een goed overzicht geboden van het ontstaan en de inzet van dit 'nieuwe denken'.

verantwoordelijk is, dat alleen al het bestaan van dit indrukwekkende culturele en maatschappelijke bouwwerk de indruk versterkt dat het fundament ook wel robuust moet zijn.

Maar, sindsdien hebben de neurowetenschappen grote vorderingen gemaakt, en het gevolg daarvan is, dat steeds onontkoombaar wordt aangetoond hoe iedere 'geestelijke' ervaring of beleving nauwkeurig correspondeert met waarneembare verschijnselen in de fysisch-chemische wereld van onze hersenmaterie. En, aangezien de neurowetenschappen een tak van de natuurwetenschappen zijn, is het denken over oorzaken en gevolgen in termen van de 'gewone' causaliteit in die kringen de meest vanzelfsprekende benadering.

Dit heeft tot spanningen geleid. Want, wanneer geestelijke verschijnselen zo precies blijken te corresponderen met materiële processen die afdoende verklaard kunnen worden met behulp van 'gewone' causaliteit, blijkt dan niet dat ook alle ervaringen en belevingen van mensen tot die gewone causaliteit te herleiden zijn? Zoals onder andere onze ervaringen of belevingen van 'vrijheid', 'creativiteit' of 'verantwoordelijkheid'? Moeten we niet prioriteit geven aan onze verklaringen boven onze ervaringen? Zoals we ooit, onder de druk van verklaringen, een aantal andere illusies van onze ervaringen hebben opgegeven, zoals de illusie van de platte aarde, of van de zon die om de aarde draait? In de laatste jaren blijken een aantal wetenschappers en filosofen geneigd om deze laatste vragen bevestigend te beantwoorden. Daarvan getuigen veelzeggende titels zoals "*The Illusion of Conscious Will*" (Wegner, 2002) en "*De vrije wil bestaat niet*" (Lamme, 2010).

Maar, de ontdekte nauwkeurige correlaties tussen materiële processen in onze hersenen en de 'geestelijke' kant van onze ervaringen, kunnen ook inspireren tot onderzoek in omgekeerde richting. Wij kunnen ons bijvoorbeeld ook afvragen: "wanneer ik zo duidelijk het verschil kan ervaren tussen situaties waarin ik *zelf* de regie over mijn denken, handelen, kortom mijn leven heb, en situaties waarin dat juist niet het geval is, zou dat verschil dan ook niet moeten corresponderen met processen en configuraties die ik in de hersenen terug kan vinden?". En bovendien: ik ervaar dat verschil niet alleen bij mijzelf, ik ervaar dit ook bij anderen. In de interactie is het verschil tussen de aanwezigheid van een ander die 'er zelf bij is' en de afwezigheid van iemand die 'er niet zelf bij is' vaak duidelijk te merken. Het boeiende van het onderzoek door een neurowetenschapper zoals Damasio (2010) is, dat hij deze ervaringen serieus neemt, en zoekt naar fysiologische processen die met deze ervaringen corresponderen. Omdat hij, door in die richting te kijken en te onderzoeken, inderdaad configuraties en processen vindt waarvan de werking correspondeert met ervaringen van een integrerend en regisserend 'zelf', is hij het niet eens met zijn collega's die dit bewust regisserende zelf tot een illusie hebben verklaard.

Het is bovendien opmerkelijk dat neurowetenschappers in de laatste jaren in toeneemende mate verschijnselen ontdekken die zij *niet afdoende kunnen verklaren* op basis van het gebruikelijke causale denken. Dit tekortschieten van gebruikelijke verklaringswijzen wijten zij dan aan de 'machine-metafoor'. Deze laatste term staat voor het oude gebruik in de biowetenschappen om de causale werking van een machine te hanteren

als 'oermodel' (paradigma) voor processen in levende systemen. Zo was het in de neurowetenschappen, sinds de ontwikkeling van computers, gangbare praktijk om de 'computer-metafoor' te hanteren, en de werking van hersenen te verklaren als een informatie verwerkend systeem dat in principe niet van een computer verschilt. Het voordeel daarvan was bovendien, dat met het voortschrijden van de informatietechnologie, ook steeds geavanceerdere modellen beschikbaar kwamen, die men ook voor verklaringen van processen in de hersenen kon gebruiken (Stam, Douw, & de Haan, 2010, pp. 228-229). Maar, neurowetenschappers ontdekken in toenemende mate ook samenhangen die zij op deze manier *niet* kunnen verklaren. Het is bijvoorbeeld de conclusie van een onderzoeksgroep van de Vrije Universiteit te Amsterdam dat "het oplossen van puzzels in de context van dit paradigma een zekere graad van verzadiging begint te bereiken" en dat hun wetenschap, om verder te komen, andere benaderingen nodig heeft (Stam et al., 2010, p. 257). De hierboven genoemde Damasio komt overigens bij zijn (review van) onderzoek naar de neurologische basis van bewustzijn en 'zelf' eveneens tot de conclusie dat zijn wetenschap alleen verder kan komen door in haar verklaringswijzen recht te doen aan *het essentiële verschil* tussen de organisatie en werking van een machine enerzijds en van een levend organisme anderzijds (2010, p. 62).

Tenslotte noem ik hier een andere onderzoeker, Robert Rosen, die eerder dan de laatstgenoemde neurowetenschappers, op verschillende gebieden in de biologie voorbeelden vond van verschijnselen waarbij het machine-paradigma tekort schiet. Voor hem was dit de aanleiding om een diepgravende analyse te ondernemen naar het ontstaan, de aard en de beperkingen van de machine-metafoor (Rosen, 1991). Hij komt daarbij tot de conclusie dat er allerlei verschillende manieren zijn waarop het één uit het ander kan volgen, en dat de machine-causaliteit daar maar één van is. Het voordeel van de Engelse taal is, dat er een algemene term is, waaronder een pluraliteit van benaderingswijzen van 'volgen uit' gevat kan worden. Dat is de term '*entailment*'. Het is een beperking van de Nederlandse taal, dat wij een dergelijke algemene term niet hebben. Wanneer wij bijvoorbeeld de term 'oorzakelijkheid' gebruiken, dan roept deze direct de ingeperkte betekenis van de gebruikelijke causaliteit op. Daarom zal ik nu een neologisme introduceren om dit begrip '*entailment*' in het Nederlands te vertalen. Dit neologisme is: '*gevolglijkheid*'. Met deze term zal ik in het vervolg het algemene verschijnsel benoemen dat het één uit het ander kan volgen, in het besef dat er van dit 'volgen uit' verschillende modi bestaan.

Volgens Rosens analyse berust de technologische machine-metafoor op het fysische mechanisme-concept. Daarom zal ik in deel III, wanneer fysica⁶⁴ toch al onder de loep genomen wordt om haar relevantie voor vorming te onderzoeken, eveneens het fysische mechanisme-concept nader beschouwen. Door contrastwerking daarmee zal de eigen

⁶⁴ De term 'fysica' (of 'fysische wetenschap') wordt hier en in deel III gemakshalve gebruikt als verzamelnaam voor de exacte natuurwetenschappen, waar scheikunde ook toe behoort.

aard van de modus van gevolglichheid die bij ondersteuning van vorming aan de orde is duidelijker gemaakt worden.

Aanvullende onderzoeksvragen

Bemoedigd door deze laatste stemmen, die betogen dat er meer modi van gevolglichheid bestaan dan de causaliteit die voorwerp van onderzoek is in fysica en fysische technologie, zal ik in het vervolg ook een verkennend onderzoek ondernemen naar de eigen aard van de samenhang tussen ondersteuning en vorming, en naar de vraag of deze samenhang vatbaar is voor toetsend onderzoek.

Overigens, naast deze stemmen uit de sferen van filosofie en wetenschap, geeft ook praktijkervaring met de ondersteuning van vorming duidelijke indicaties dat deze samenhang voor verbetering vatbaar en toetsbaar kan zijn. Er zijn leraren die het eigen vormgeverschap van leerlingen bewust stimuleren, en die daar ook merkbaar in slagen. Er zijn ook schoolleiders die aansturen op 'emergentie' van het eigen vormgeverschap van leraren (van der Hilst, 2015). Deze schoolleiders en leraren handelen daarbij op basis van inzichten die zij deels ook kunnen expliciteren. Deze professionals blijken in het algemeen van hun ervaringen te leren. Voor wie hen daarin wil ondersteunen is het daarom een belangrijke vraag, of hun leerprocessen met behulp van methodisch-zorgvuldig onderzoek versterkt en verbeterd kunnen worden.

Ervaringen met het tegenovergestelde van ondersteuning kunnen daarnaast ook vermoedens opleveren van onderzoekbaarheid. Er zijn bijvoorbeeld vormen van onderwijsorganisatie, of van interactie tussen leraren en leerlingen, die duidelijk de indruk maken dat zij het eigen vormgeverschap van leerlingen ontmoedigen, tegenwerken of onmogelijk maken. Wanneer de betrouwbaarheid van inzichten in deze samenhangen onderzoeksmatig versterkt kan worden, wordt eveneens kennis voortgebracht waar ondersteuners van vorming hun voordeel mee kunnen doen.

Op grond van al deze overwegingen zal een verkennend onderzoek naar 'gevolglichheid' in het vervolg van deze studie worden opgenomen. Als richtlijn daarvoor dienen de volgende aanvullende onderzoeksvragen:

Kan de samenhang tussen 'ondersteuning' en 'vorming' beschouwd worden als een modus van gevolglichheid die vatbaar is voor toetsend onderzoek;

kan deze modus van gevolglichheid gepositioneerd worden te midden van andere modi van toetsbare gevolglichheid;

stelt deze modus van gevolglichheid specifieke eisen aan de werkwijze bij toetsend onderzoek?

5 VERVOLG

De aanvulling met bovenstaande onderzoeksvragen maakt de structuur van mijn onderzoek ingewikkelder. Om duidelijk te maken hoe de beantwoording van de aanvullende

vragen in het onderzoek als geheel worden opgenomen zal ik nu eerst de oorspronkelijke onderzoeksvragen recapituleren:

De hoofdvraag en deelvragen van het onderzoek luiden (pagina 34):

Hoe kan men zich voorstellen, dat het functioneren van een schoolleider als deelnemer binnen een opleiding een zodanige invloed heeft op zijn identiteitskenmerken, dat hij in zijn school beter gaat functioneren als pedagogisch leider ten aanzien van het onderwijs in de exacte vakken?

Deelvragen:

- a. Welke identiteitskenmerken kunnen er aan bijdragen dat een schoolleider in zijn school goed (en beter) functioneert als pedagogisch leider, ten aanzien van het onderwijs in de exacte vakken?
- b. Hoe kan men zich voorstellen dat het functioneren van een schoolleider als deelnemer van een opleiding, bijdraagt aan de ontwikkeling van de in antwoord op de eerste vraag gevonden identiteitskenmerken?

In een groot gedeelte van het vervolg, de delen II en III, zal de beantwoording van de eerste deelvraag, naar identiteitskenmerken van een schoolleider, centraal staan.

Pas daarna, in deel IV, zal ik toekomen aan beantwoording van de tweede deelvraag, naar de bijdrage van opleiding.

5.a Integratie van aanvullende vragen

Bij de beantwoording van de eerste deelvraag speelt de integratie van de aanvullende vragen een belangrijke rol. Deze vragen worden gemotiveerd door de aanname, dat de mogelijkheden om ondersteuning van vorming te verbeteren aanzienlijk toenemen wanneer adequaat toetsend onderzoek ingezet kan worden. Wanneer deze aanname juist is, dan behoren ook motivatie en kundigheid om de aanvullende vragen te beantwoorden tot de wenselijke identiteitskenmerken van schoolleiders als (ped)agogische leiders.

Om nu de beantwoording van de eerste deelvraag met de beantwoording van de aanvullende vragen te combineren zal ik gebruik maken van de omstandigheid dat de culturele disciplines, waarin de exacte schoolvakken leerlingen inleiden, zelf het karakter hebben van onderzoeksdisciplines.

Uit het verkennend onderzoek naar de exacte disciplines zal blijken dat antwoorden op de gevolgvraagsvragen niet (geheel) binnen deze disciplines gevonden kunnen worden. De exacte disciplines maken echter deel uit van een grotere 'familie' van onderzoeksdisciplines. Binnen deze familie kan ieder familielid gekarakteriseerd worden door sterke kanten en beperkingen, en door interacties met mens- en wereldbeelden in de

omringende cultuur. Het zal blijken dat het onvermogen van exacte disciplines om het gevolglichheidsprobleem op te lossen, samenhangt met specifieke beperkingen die hen karakteriseren. De identificatie van deze beperkingen stelt echter in staat om, via contrastwerking, aanwijzingen te vinden voor (combinaties van) familieleden die wel een oplossing van het gevolglichheidsprobleem te bieden hebben.

In het licht van deze overwegingen wordt in de delen II en III de 'omweg' genomen van een verkennend onderzoek naar respectievelijk wiskunde (deel II) en fysische wetenschappen (deel III), als leden van de 'onderzoeksfamilie'. Het nemen van die omweg berust op drie redenen:

- Wanneer onderwijs opgevat wordt als inleiding in cultuur, dan is het van belang om zich te verdiepen in de culturele betekenis van de disciplines waarin de schoolvakken leerlingen inleiden.
- Uit een verkenning van het vormingspotentieel van exacte wetenschappen, als culturele disciplines, kan afgeleid worden wat daarvan in de context van het onderwijs in schoolvakken aan bod kan komen.
- Aan een verkenning van de sterke kanten en beperkingen van exacte wetenschappen kunnen aanwijzingen ontleend worden voor de onderzoekbaarheid van de samenhang tussen ondersteuning en vorming in het onderwijs.

Om dit verkennende onderzoek, via de omweg, te doen uitkomen bij antwoorden op de eerste deelvraag worden de volgende vragen als richtlijnen gehanteerd:

1. *Welke mogelijkheden en beperkingen, en welke interacties met mens- en wereldbeelden, karakteriseren dit familielid, te midden van de familie als geheel?*
2. *Stelt dit familielid specifieke eisen aan de werkwijze bij onderzoek?*
3. *Kan de samenhang tussen 'ondersteuning' en 'vorming' volgens dit familielid beschouwd worden als een modus van onderzoekbare gevolglichheid?*
4. *Welke aanwijzingen levert het in dit deel beschreven verkennende onderzoek naar dit familielid op, omtrent identiteitskenmerken die eraan kunnen bijdragen dat een schoolleider goed (en beter) functioneert als pedagogisch leider ten aanzien van het onderwijs in de exacte vakken?*

Deze vierde vraag wordt beantwoord aan de hand van drie hulpvragen:

- a. Welke kansen op vorming heeft het schoolvak wiskunde (deel II), respectievelijk hebben de schoolvakken natuur- en scheikunde (deel III) in principe te bieden?
- b. Hoe kunnen schoolleiders zich voorstellen dat leraren wiskunde (deel II), respectievelijk leraren natuur- en scheikunde (deel III), de vorming van leerlingen ondersteunen, en dat zijzelf de vorming van deze leraren ondersteunen?
- c. Kan men toetsend onderzoek inzetten ter verbetering van de ondersteuning van vorming op school, en zo ja, aan welke eisen moet zulk onderzoek voldoen?

Verkennend onderzoek dat op dergelijke vragen gericht is heeft een filosofisch karakter. Bovendien kan dergelijk onderzoek niet waardevrij ondernomen worden. Zowel levens-

beschouwelijke als pedagogische positiekeuzen hebben in het geval van het hier gepresenteerde onderzoek een bepalende invloed op uitgangspunten en methode. Om die reden zal in het derde hoofdstuk van dit deel I een verantwoording van uitgangspunten en methode gegeven worden, van het onderzoek dat in de delen II en III gepresenteerd wordt.

5.b Afronding

Aan het einde van deel III (hoofdstuk 17, § 3) zullen de contouren geschetst worden van een onderzoeksbenadering door middel waarvan ondersteuning van vorming methodisch getoetst en verbeterd kan worden. In deel IV zal vervolgens het tweede deel van de hoofdvraag van het onderzoek beantwoord worden. Dit antwoord zal met name berusten op de voorstelling van een *mogelijkheid* om de in deel III gevonden onderzoeksbenadering toe te passen in en rond een opleiding voor schoolleiders (hoofdstuk 18, § 1.a). Daarbij zal blijken dat de gevonden onderzoeksbenadering tegelijk een oplossing biedt voor het 'schakelprobleem'.

De opbrengsten van de delen II en III zullen ook duidelijk maken dat aanvulling en versterking door het pedagogisch leiderschap van leraren (van de exacte vakken) een groot verschil maakt voor de mogelijkheden van een schoolleider om pedagogisch leiderschap te realiseren. Daarom zal in hoofdstuk 18 (§ 2.b) eveneens een mogelijkheid worden geschetst om de eerder gevonden onderzoeksbenadering ook voor lerarenopleidingen vruchtbaar te maken.

In hoofdstuk 19 van deel IV zullen eerst de opbrengsten van het onderzoek samengevat worden in het licht van de onderzoeks- en richtvragen (§ 1). Daarna volgt zowel een kritische discussie van deze opbrengsten in het licht van de uitgangspunten, als een kritische discussie van de uitgangspunten in het licht van de opbrengsten (§ 2). Tenslotte volgen in § 3 suggesties voor een verbeter-traject en voor vervolgonderzoek.

HOOFDSTUK 3

Uitgangspunten en methode

Aan het einde van het vorige hoofdstuk, in § 5.a, werden de vragen geformuleerd die als richtlijn gelden voor het verkennende onderzoek dat hierna in de delen II en III gepresenteerd wordt. Deze vragen impliceren een taakstelling die als volgt in één zin samengevat kan worden:

Het ondernemen van een verkennend onderzoek, dat via de omweg van reflectie op mathematische en fysische wetenschappen⁶⁵ uitkomt bij het vormingspotentieel van exacte schoolvakken, en uitkomt bij de identiteitskenmerken van schoolleiders, die van belang zijn om te ondersteunen dat dit vormingspotentieel zich realiseert.

Daarbij werd in § 5.a ook al opgemerkt dat een dergelijke reflectie, als reflectie op wetenschappen een meta-wetenschappelijk, ofwel filosofisch, karakter heeft. Voor een groot deel zal dit filosofische karakter getypeerd kunnen als *wetenschapsfilosofisch*. Maar, om uit te kunnen komen bij 'vorming' in het kader van de pedagogische schoolpraktijk, zal deze reflectie ook elementen moeten bevatten die gewoonlijk niet tot wetenschapsfilosofie gerekend worden, maar tot takken van filosofie die aangeduid worden als cultuurfilosofie, natuurfilosofie, filosofische antropologie, wijsgerige ethiek, wijsgerige pedagogie, et cetera.

Ook filosofisch, meta-wetenschappelijk, onderzoek moet methodisch tewerk gaan. Daarbij geldt wel dat de methode bij dergelijk onderzoek, en zeker wanneer het een zoekend (heuristisch) karakter heeft, niet bij voorbaat geheel en al bepaald kan zijn, maar ook gaandeweg ontwikkeld en bijgesteld wordt. Dit neemt echter niet weg dat er ook methodische uitgangspunten en werkwijzen zijn die van de aanvang af het onderzoek bepalen, en waarvan het goed is om die vooraf te verantwoorden. Die verantwoording is temeer van belang omdat een dergelijk filosofisch-verkennend onderzoek niet waarde-vrij ondernomen kan worden. De lezer heeft er recht op om vanaf het begin te weten op welke a priori's de verkenning gebaseerd is.

Omdat 'wetenschap' in de delen II en III een belangrijk voorwerp van onderzoek zal zijn, zal de volgende paragraaf gewijd zijn aan het expliciteren van de visie op betekenis en belang van wetenschap, die een belangrijk uitgangspunt vormt van dit onderzoek.

⁶⁵ Onder de term 'fysische wetenschappen' worden in deze studie natuur- en scheikunde onder één noemer gebracht.

1 BETEKENIS EN BELANG VAN WETENSCHAP

Er zijn veel situaties waarin mensen handelen op grond van onbewust inzicht. Dat is vaak een goede zaak, want in veel gevallen is er geen tijd om bewust na te gaan wat men weet en niet weet, of wat men begrijpt en niet begrijpt, en om dan op grond van dat alles een bewuste keuze te maken. Bovendien blijken er ook tal van situaties te zijn waarin *het slimme onbewuste* (Dijksterhuis, 2007) niet alleen een snellere maar ook een betere raadgever is dan ons bewuste redeneervermogen. Men moet dus beslist niet te gering denken van intuïtieve, impliciete en onbewuste inzichten.

Maar, aan de andere kant zijn deze inzichten ook niet onfeilbaar; en kunnen juist snelle of intuïtieve reacties bewerkstelligen dat wij vastlopen in vooroordelen, patronen of projecties, en zo geen steek verder komen of ernstige fouten maken. Ons onbewuste kan kennelijk naast slimme vermogens ook hinderlijke 'oogkleppen' herbergen. Oogkleppen die zowel onze waarneming als ons denken nadelig inperken of op een verkeerd spoor zetten. Bovendien maken deze oogkleppen ons kwetsbaar voor de vele vormen van misleiding waaraan wij in onze maatschappij (via reclame, infotainment, populisme, et cetera) onderhevig zijn. In zijn boek *Oogklepdenken* (2012) licht de Vlaamse filosoof Ruben Mersch dit aan vele voorbeelden toe. In deze context kwalificeert hij het onbewust gestuurde waarnemen en oordelen als onze '*innerlijke idioot*'. Zodoende zet hij een behartigenswaardige tegenhanger neer tegenover het '*slimme onbewuste*'.

Mersch introduceert vervolgens wetenschap en onderzoek als een verzameling methoden om "na te gaan wat de best mogelijk verklaring is. Een vorm van traag denken die probeert zo goed en zo kwaad als het gaat de valkuilen van jouw idioot te ontwijken" (a.w., p. 16). Een ander belangrijk aspect van de wetenschappelijke methode is het kritisch ter discussie stellen van kennis (a.w., p. 17). Dat laatste vooronderstelt dat waarnemingen, verklaringen en interpretaties zodanig vorm krijgen en uitgewisseld worden dat zij voor kritische discussie of toetsing vatbaar zijn. Die kritische toetsingen, verbeteringen en uitbreidingen van kennis, in de wereldgemeenschap van onderzoekers, heeft ertoe geleid dat een gigantisch arsenaal aan expliciete kennis gevormd is, en zich voortdurend verder ontwikkelt.

Het lijkt mij een goed idee om wetenschap, in navolging van Mersch en vele anderen, in beginsel te zien als een methode om de risico's en tekortkomingen van impliciete of onbewuste inzichten te ondervangen met vormen van expliciete, uitwisselbare en kritisch verbeterbare kennis. Overigens, zonder dat dit ten koste hoeft te gaan van het zinvolle gebruik van 'het slimme onbewuste' of van 'tacit knowledge' (Nonaka & Takeuchi, 2003; Polanyi, 1973, 1983). Bovendien zal in de delen II en III nog aan de orde komen dat ook de wetenschap het niet zonder dit 'slimme onbewuste' kan stellen⁶⁶.

⁶⁶ Zie daarvoor de discussies en opvattingen rond wetenschappelijke intuïtie die op verschillende plaatsen in de delen II en III aan de orde komen.

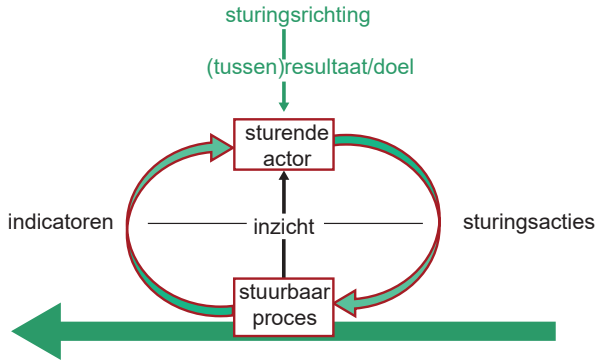
Om de functie van onderzoek voor een opleiding van schoolleiders verder te verduidelijken zal ik nu schetsen hoe onderzoeksvragen van deelnemers aan de orde kunnen komen. De eerste stap in de richting van onderzoek wordt, in de opleiding die ik uit eigen ervaring ken, gezet met behulp van een 'sturingsmodel'⁶⁷ (zie figuur 5). Aan de hand van dit model kan een sturende actor⁶⁸ (een schoolleider, een docent, of een team) een situatie analyseren waarin een snelle intuïtieve aanpak niet (voldoende) blijkt te werken. Uit de figuur blijkt dat 'inzicht' in dit model een centrale plaats inneemt. Dit is bedoeld om er de aandacht op te vestigen dat verbetering van inzicht een belangrijk middel kan zijn om sturing te verbeteren. Laat ik een voorbeeld nemen dat verband houdt met het thema van deze studie: vorming en pedagogisch leiderschap⁶⁹. Neem aan dat een deelnemer aan de opleiding, in een vergadering met docenten van de bovenbouw Havo (de klassen 4 en 5), gehoord heeft hoe de docenten erover klagen dat hun leerlingen nog maar zelden belangstellende vragen stellen over de inhoud van de lessen, zoals zij in de onderbouw nog wel deden, maar dat hun vragen, als zij die al hebben, bijna altijd het karakter hebben van: "moet ik dit weten voor mijn examen?", "krijg ik er een cijfer voor?", "wanneer moet het af?", en dergelijke. De schoolleider stelt deze casus aan de orde omdat hij dit leerlinggedrag, net als de klagende docenten, opvat als een indicator (zie schema) van slechte 'vormingskwaliteit', maar hij ook niet meer weet hoe hij in deze situatie als schoolleider de voorwaarden voor de vorming van de leerlingen kan verbeteren. Hij heeft in een toespraak tot de docenten wel gesteld dat het onderwijs in de bovenbouw Havo niet versmald moet worden tot examentraining, maar de docenten wezen, in reactie daarop, op het weinige aantal lessen dat zij hebben om de leerlingen op het examen voor te bereiden, en op hun inschatting dat het dan vooral in het belang van de zwakkere leerlingen is om het onderwijs toch in hoofdzaak op het komende examen te oriënteren. Na deze mislukte sturingsactie weet de schoolleider niet meer wat hij vanuit zijn rol zou kunnen doen om de situatie te verbeteren. Hij stelt dit 'sturingsprobleem' ook aan de orde binnen de opleiding omdat daar de gelegenheid geboden wordt om een dergelijk probleem te vertalen naar een vraagstelling voor onderzoek, om vervolgens te leren hoe een dergelijk onderzoek aangepakt kan worden, en om tenslotte een dergelijk onderzoek ook zelf uit te voeren. De stappen in de richting van onderzoek komen dan in hoofdlijn neer op:

⁶⁷ Meer informatie over dit model is te vinden in (Lengkeek, 2004). Het werken met dit model is minder eenvoudig dan het lijkt. In de loop der jaren zijn veel ervaringen opgedaan en werden verschillende instrumenten rond dit model ontwikkeld.

⁶⁸ Het subject van handelen (een individu of een collectief) wordt in dit model voorgesteld als een 'sturende actor' op grond van de aanname dat handelen altijd sturing in de richting van een bepaalde intentie of preferentie impliceert. Daarom is, voor de voorstelling van dit handelen, de vorm gekozen van een eenvoudig cybernetisch model.

⁶⁹ Voorbeeld ontleend aan (Meijlink, 2012).

Figuur 5



- het analyseren van het sturingsprobleem, op grond van eigen methodische reflectie en met behulp van kritische vragen van opleiders en/of mede-deelnemers, uitlopend op casus-specifieke bepalingen van alle elementen van het sturingsmodel;
- waarbij met name het element 'inzicht' onder de loep genomen wordt: is er sprake van vermeend inzicht (door denkfouten, of te snel oordelen bij onvoldoende informatie)?; welk deel van het bestaande inzicht kan betrouwbaar geacht worden?; en als belangrijkste: *in welke opzichten ontbreekt het aan inzicht?*⁷⁰
- het formuleren van een *doelstelling* voor onderzoek (bij deze casus zou de doelstelling bijvoorbeeld kunnen inhouden: dat het onderzoek moet bijdragen aan het ontwerpen van een interventie⁷¹ vanuit de schoolleiding, die erop gericht is dat de leerlingen in de bovenbouw Havo gestimuleerd worden om meer kritische en belangstellende vragen over de leerstof te stellen);
- en tenslotte moet, op grond van het voorafgaande, de vraag- of probleemstelling voor het onderzoek geformuleerd worden.

In principe maken deze stappen nu duidelijk hoe, bij de hier geschetste benadering, het antwoord op de vraag naar betekenis en belang van onderzoek en wetenschap geformuleerd kan worden:

Onderzoek en wetenschap hebben als functie om, bij het tekortschieten van intuïtieve of impliciete inzichten, met expliciete kennis bij te dragen aan verbetering van inzicht, zodanig dat een actor met behulp daarvan zijn sturing kan verbeteren.

⁷⁰ In dit verband wordt 'inzicht' zo ruim opgevat dat (feiten)kennis daarbij inbegrepen is.

⁷¹ 'Interventie' heeft een ruimere betekenis dan 'sturingsacties', zie hierna pagina 86.

Het zal duidelijk zijn dat dit antwoord ook zal gelden voor de functie die onderzoek en wetenschap voor de opleiders vervullen. Ook de opleiders hebben te maken met sturingsopgaven waarbij een intuïtieve benadering tekort kan schieten, en ook zij kunnen onderzoek en wetenschap inschakelen om hun sturing en de opleiding te verbeteren⁷².

In verband met mijn eerdere formulering van het 'gevolgrijkeheidsprobleem' (pagina 71 e.v.) moet bij het hierboven genoemde 'verbeteren' opgemerkt worden, dat dit een bijzonder karakter krijgt wanneer de interventie als doel heeft om te bevorderen dat andere actoren zelf in de beoogde richting gaan sturen. In het bovengenoemde voorbeeld: de schoolleider wil er niet op aansturen dat de klagende docenten zich doeiel *laten* sturen in de richting van het stimuleren van leerlingen tot kritische en belangstellende vragen, maar wil erop aansturen dat deze docenten zelf een uitweg uit hun dilemma's zoeken en vinden, en zelf creatieve interventies ontwikkelen om leerlingen ook in de bovenbouw tot kritisch meedenken te activeren. En, de schoolleider zal er zeker niet al het onderzoek in dit verband naar zich toe willen trekken, maar zal er graag op aan willen sturen dat de docenten zelf onderzoek initiëren, dat kan bijdragen aan de verbetering van hun sturing.

En tenslotte zullen ook de docenten niet willen aansturen op nog meer volgzzaamheid bij hun leerlingen (zodat zij vragen gaan stellen die meer aan de verwachtingen van hun docenten beantwoorden) maar zullen zij willen aansturen op een werksituatie waarin leerlingen ondanks de examendruk nog steeds de speelruimte en de stimulansen ervaren om kritisch mee te denken, en hun eigen vragen te leren stellen bij de inhouden die op hun pad komen. Ook deze docenten zullen niet al het onderzoeken naar zichzelf toe willen trekken, maar liever bevorderen dat hun leerlingen onderzoekend leren.

2 BETEKENIS EN BELANG VAN WETENSCHAPSFILOSOFIE

Nu de visie op betekenis en belang van wetenschap geschetst is, moet ook de visie op betekenis en belang van wetenschapsfilosofie uiteengezet worden. Ook deze visie func-

⁷² Om deze functie waar te maken zijn uiteraard nog een aantal vervolgstappen nodig, die in hoofdlijn neerkomen op:

- literatuuronderzoek: nagaan of er al onderzoek bekend is, en of er al theorievorming heeft plaats gevonden, met relevantie voor de gekozen vraagstelling;
- evalueren van dit onderzoek en deze theorievorming in het licht van de eigen vraagstelling;
- bepalen en ontwerpen van eigen onderzoek, voor zover dat in aanvulling op het voorafgaande wenselijk is;
- nagaan of de uitvoering van onderzoek tegelijk al een interventie impliceert, en zo ja, bepalen hoe aan deze interventie zorgvuldig vorm gegeven moet worden.

tioneert als uitgangspunt voor het hierna gepresenteerde onderzoek, en bepaalt in belangrijke mate de gevolgde methode.

2.a Praktijkgerichtheid vraagt om interdisciplinaire samenwerking

Hierboven formuleerde ik dat onderzoek en wetenschap, in het kader van een opleiding voor schoolleiders, als functie hebben om bij te dragen aan de verbetering van sturing. Een meer algemeen gangbare formulering luidt, dat dergelijk praktijkgericht onderzoek gericht is op het ontwerpen en verbeteren van *interventies*. Bij het gebruik van deze laatste term kan ik mij aansluiten omdat deze opgevat kan worden als gelijkwaardig met het eerder genoemde '*sturing*'. Daarbij moet aangetekend worden dat de verbeteringen van inzicht, waar onderzoek aan bij kan dragen, niet alleen kunnen leiden tot nieuwe of betere sturingsacties, maar ook kunnen leiden tot suggesties om op andere indicatoren te letten, tot suggesties om zich op een ander stuurbaar proces te concentreren, of tot suggesties om zich op een ander resultaat te richten. Daarnaast kan onderzoek ook dienen om tal van aspecten te verbeteren die in het sturingsmodel niet voorkomen. Onderzoek kan bijvoorbeeld ook bijdragen aan het ontwikkelen van nieuwe of verbeterde technische hulpmiddelen, die soms doelen bereikbaar maken die eerder ondenkbaar waren, en die daarom veel invloed kunnen hebben op de vormgeving aan sturing. Onderzoek kan ook bijdragen aan het formuleren van richtlijnen, methoden of protocollen voor het handelen, aan het formuleren en trainen van vaardigheden, aan organisatieveranderingen, et cetera. In het onderwijs kunnen deze bijdragen de vorm krijgen van smartboards, educatieve software, leerplannen, didactische werkvormen, interactie-trainingen, alternatieve onderwijsorganisaties, et cetera. Onderzoek kan dus op vele verschillende manieren bijdragen aan het ontwerpen en verbeteren van interventies (c.q. sturing)⁷³.

Bovendien hebben de praktijksituaties, die aanleiding kunnen geven tot onderzoek, in veel gevallen zoveel verschillende aspecten of dimensies dat zij vragen om multi- of interdisciplinair onderzoek. Voor het verduidelijken van deze mogelijkheid zal ik aanknopen bij het eerder gegeven voorbeeld (pagina 83 e.v.).

De situatie waarin leerlingen bijna uitsluitend alleen nog maar 'dead questions'⁷⁴ stellen kan aanleiding geven tot empirisch-gedragswetenschappelijk onderzoek. De docenten kunnen bijvoorbeeld, met ondersteuning vanuit de schoolleiding en eventueel ook van externe onderzoekers, een onderzoek (laten) uitvoeren waarbij het 'vraagge-

⁷³ Naar mijn overtuiging heeft het zin om bij 'interventie' steeds de connotatie met 'sturing' te handhaven, omdat dit benadrukt dat een actor niet willekeurig 'tussenbeide komt', maar daarbij een richting, een waarde, of een belang op het oog heeft.

⁷⁴ Een treffende typering van de categorie van vragen die de leerlingen in het voorbeeld stellen, zoals men die in de literatuur kan vinden. Zie bijvoorbeeld (Elder & Paul, 1998).

drag' van leerlingen tijdens hun lessen geobserveerd wordt. Dit gedrag kan dan gescoord worden volgens een indeling die bij eerder empirisch onderzoek vruchtbaar bleek. Daarnaast kan men, op grond van een conceptueel model, en met gebruikmaking van andere meetmethoden dan alleen observatie, nagaan of verschillen tussen dit vraaggedrag in onderbouw en bovenbouw samenhangen met andere kenmerken (variabelen) van de situaties waarin het onderzochte gedrag zich voordoet. Een wezenlijk kenmerk van dergelijk onderzoek is de norm dat de onderzoeker zo zuiver mogelijk moet afgaan op extern waarneembaar gedrag, en zich bij de stappen van zijn onderzoeksproces niet (mede) mag laten sturen door de eigen verklaringen die zijn 'proefpersonen' of 'respondenten' van hun eigen gedrag kunnen hebben. Hij kan uiteraard verbale uitingen van zijn objecten van onderzoek (waaronder wellicht ook eigen verklaringen) wel als 'data' registreren. Maar, dergelijke data zal hij benaderen als 'taalgedrag', dat wil zeggen als één van de verschillende vormen van gedrag die hij registreert. De onderzoeker is exclusief verantwoordelijk voor alle stappen in zijn onderzoek, en hij mag zich daarin niet door communicatie met zijn objecten laten beïnvloeden.

Deze zelfde situatie kan echter ook aanleiding geven tot een geheel andere benadering van onderzoek. De betrokken leraren kunnen ook onderzoek entameren dat uitgaat van de "grondgedachte", zoals Theo de Boer (1980, p. 8) het formuleert, "dat de mens een wezen is dat zichzelf uitlegt". Wanneer onderzoekers (eventueel de docenten van de leerlingen) dit principe volgen zal hun onderzoeksinspanning erop gericht zijn om de leerlingen te ondersteunen om hun waarnemingen van en hun inzicht in het eigen gedrag te expliciteren, uit te wisselen, en waar nodig te verbeteren. Het doel daarvan is dat de leerlingen zelf de beoogde, onderzoeksmatig verantwoorde verklaringen van hun gedrag⁷⁵ geven, en zelf de eindverantwoordelijkheid voor deze verklaringen dragen. Dergelijk onderzoek zal gebruik maken van andere methoden dan de hierboven geschetste benadering, zoals bijvoorbeeld open interviews, focusgesprekken, verhalenworkshops, of het werken met non-verbale expressievormen. Het uitgangspunt zal blijven dat in hoofdzaak de vermogens van de leerlingen tot zelfwaarneming en zelfinzicht ingeschakeld worden om tot valide antwoorden op de onderzoeksvragen te komen. Bij dergelijk onderzoek is het object van onderzoek tegelijk ook subject van onderzoek.

Naar mijn opvatting zijn er in dergelijke situaties goede mogelijkheden tot constructieve interactie tussen deze verschillende benaderingen. In de eerste plaats is er de mogelijkheid van onderlinge aanvulling. Het is bijvoorbeeld mogelijk dat de betrokken leerlingen ook onderhevig zijn aan invloeden waar zij zich niet van bewust zijn. Dergelijke invloeden kunnen wel door de eerste maar niet door de tweede onderzoeksbenadering aan het licht gebracht worden. Anderzijds draagt het gedrag van de leerlingen betekenis waar de leerlingen de auteurs van zijn, en die slechts goed te begrijpen zijn wanneer men die betekenissen kan interpreteren vanuit de contexten waarin zij voor de leerlin-

⁷⁵ Waarbij het concept 'gedrag' in deze context een andere betekenis krijgt dan het in de behaviouristische traditie heeft.

gen staan. Wanneer men die betekenissen in hun context aan het licht wil brengen moet men niet de eerste benadering volgen, maar moet men de leerlingen zelf uitnodigen om hun motieven en contexten aan het licht te brengen, en moet men zich als ondersteunende onderzoeker juist communicatief-ontvankelijk opstellen. Bovendien: wanneer men beoogt om leerlingen als mede-actoren te betrekken bij verbetering van de praktijksituatie, dan kan men dit het beste bereiken door hen ook als mede-onderzoekers te betrekken bij het onderzoek dat in dienst van die verbetering wordt ondernomen.

Wanneer men zulke verschillende onderzoeksbenaderingen toepast, dan kunnen die soms onderling strijdige resultaten opleveren (of lijken op te leveren). Op dergelijke strijdigheden kan in principe op drie verschillende manieren gereageerd worden:

1. Er kan er maar één gelijk hebben. Meestal vergezeld van: en het is ook duidelijk welke van de verschillende benaderingen het meest betrouwbaar is.
2. Het zijn onverenigbare benaderingen met elk hun eigen 'waarheid'. Men moet tussen deze benaderingen een strikte boedelscheiding handhaven. Elke benadering heeft zijn eigen gelijk op zijn eigen gebied.
3. De 'volle werkelijkheid' is rijker dan weergegeven kan worden door elk van de onderzoeks-benaderingen apart. Dissonantie moet aanleiding geven tot kritische discussie over-en-weer. De verschillende onderzoeksbenaderingen moeten een dergelijke dissonantie aangrijpen om kritisch naar elkaar en naar zichzelf te kijken⁷⁶.

Het zal duidelijk zijn dat deze studie de derde benadering van dissonanties vertegenwoordigt. Onderzoeksresultaten vanuit verschillende benaderingen winnen aan validiteit wanneer onderlinge aanvulling en bevestiging hersteld kunnen worden. En, daartoe moet elke benadering zijn eigen aandeel willen leveren. Maar, om een dergelijke en-en-benadering toe te kunnen passen en vol te kunnen houden is een wetenschapsfilosofie nodig die een visie biedt op de sterke kanten en op de beperkingen van de 'brillen' die verschillende onderzoeksbenaderingen hanteren.

2.b Levensbeschouwelijke positiekeuze met pedagogische implicaties

Een wetenschapsfilosofische reflectie zal, naast de hiervoor genoemde belangen die samenhangen met multidisciplinaire samenwerking, ook nog rekening moeten houden

⁷⁶ Zie het eerder genoemde voorbeeld (pagina 74 e.v.) van de dissonantie tussen extern onderzoek naar hersenactiviteiten enerzijds, en anderzijds de geesteswetenschappelijke voorstelling van de mens als auteur en regisseur van zijn mentale processen. Deze dissonantie verleidde een aantal auteurs tot de mijns inziens overhaaste conclusie dat de geesteswetenschappen het dus bij het verkeerde eind hebben. Damasio (2010) geeft daarentegen een goed voorbeeld van een en-en-benadering wanneer hij fenomenologische analyses van 'tot bewustzijn komen' in betekenisvol verband brengt met neurologisch observeerbare activiteiten van hersengebieden.

met een derde belang dat samenhangt met de levensbeschouwelijke⁷⁷ positiekeuze van opvoeders. Bij deze positiekeuze denk ik aan controverses, zoals die bijvoorbeeld in en na 2006⁷⁸ tot uiting kwamen naar aanleiding van *The God Delusion* (Dawkins, 2006) en *Breaking the Spell* (Dennett, 2006), en die in die jaren leidden tot allerlei discussies in de media, en in mijn directe omgeving. Dergelijke controverses noodzaken een opvoeder tot positiekeuze omdat zij samenhangen met pedagogische implicaties van visies op wetenschap die een opvoeder niet onverschillig kunnen laten. Hieronder zal ik een beeld schetsen van de verschillende positiekeuzen en hun pedagogische implicaties. Daarbij zal blijken dat dit pedagogisch kleur bekennen in nauw verband staat met interpretaties en evaluaties die tot het werkterrein van de wetenschapsfilosofie behoren. Tegen deze achtergrond zal mijn eigen positiekeuze duidelijk worden, en kan ik zodoende ook verduidelijken hoe mijn keuze voor een specifieke wetenschapsfilosofische benadering mede bepaald is door mijn levensbeschouwelijke en pedagogische positiekeuze.

De scientistisch-existentialistische positie

Eén van de posities⁷⁹, die ingenomen worden in de levensbeschouwelijke controverse die ik bedoel, is de opvatting dat de moderne natuurwetenschappen, en daarbinnen met name de evolutietheorie, bewijzen⁸⁰ dat alles wat bestaat *in wezen* zinloos is. Zo ook het gegeven dat er leven op aarde is, dat tot die levende wezens ook mensen behoren, en dat er een cultuur en een geschiedenis is. Dat alles zou *in wezen* allemaal zonder doel of reden zijn, niet meer dan een logisch gevolg van betekenisloze wetmatigheden in interacties met betekenisloze ketens van toevalligheden. Omdat mensen aan dat alles 'subjectieve' betekenissen en waarderingen toekennen, daarom kan het net lijken alsof het leven in-zichzelf zin heeft, terwijl dat in werkelijkheid niet zo is.

Deze opvatting, die men 'scientistisch' kan noemen, wordt in veel gevallen aangevuld met de 'existentialistische' conclusie dat er voor menselijke betekenis- en zingeving dus

⁷⁷ De term 'levensbeschouwelijk' wordt hier gebruikt om aan te geven dat een dergelijke positiekeuze niet alleen berust op redelijke argumenten, maar ook op een diepere laag van vertrouwen, zingeving, hoop en waarderingen (L. van der Burg et al., 1989, p. 6). Ook 'scientisme' is daarom een levensbeschouwing, omdat de aanhangers daarvan voor hun antwoorden op 'laatste vragen' het meest op (een bepaalde) wetenschap vertrouwen.

⁷⁸ Van dergelijke controverses zouden ook vele andere voorbeelden genoemd kunnen worden.

⁷⁹ Voor de duidelijkheid zal ik hier vele nuances weglaten, die in de praktijk bij de verschillende posities aangebracht kunnen worden.

⁸⁰ Het begrip 'bewijzen' heeft, in de context van een rechtvaardiging van deze positie, in het algemeen niet de betekenis van logisch of wiskundig sluitend bewijzen, maar eerder van "er zijn zoveel aanwijzingen dat ik dit voldoende bewezen acht".

in principe geen beperkingen gelden⁸¹. De inherente zinloosheid van de natuur, en de afwezigheid van voorgegeven kaders, openen tegelijk een ongelimiteerde ruimte voor alle denkbare vormen van menselijke zingeving.

In pedagogisch opzicht impliceert deze opvatting dat opvoeders het als hun opdracht zien om jonge mensen te ondersteunen in een ontmythologiserend leerproces, waarin zij op den duur leren om de kinderlijke 'bezielde' wereldbeelden van sprookjes of religieuze verhalen op te geven, zich te verzoenen met de voorstelling van een betekenisloze 'objectieve' werkelijkheid, en zich te wijden aan de menselijke opgave om subjectief zin te geven aan het objectief zinloze.

Deze levensbeschouwelijke positie en haar pedagogische implicaties berusten echter op een specifieke *interpretatie* van de opbrengsten van wetenschappen en technologie. En, het ontwikkelen van dergelijke interpretaties, evenals het kritisch beschouwen en evalueren daarvan, dat zijn taken die tot het terrein van wetenschapsfilosofie behoren.

De metafysisch-apriorische positie

De hierboven geschetste 'sciëntistisch-existentialistische' positie is voor veel mensen een reactie op oudere opvattingen die als 'metafysisch-apriorisch' getypeerd kunnen worden. Bij deze opvattingen, die nog steeds veel mensen inspireren, heeft alles wat bestaat een voorgegeven zin. In het algemeen gelooft men ook dat essenties van die voorgegeven zin deels kenbaar zijn (bijvoorbeeld door openbaring⁸²). Aanhangers van een dergelijke levensbeschouwing hechten hun basisvertrouwen aan die essenties, en ontlenen daaraan de waarden waarop zij zich in hun leven oriënteren.

Deze opvattingen hebben een lange geschiedenis, maar ook een opgave om die te verantwoorden. In die geschiedenis hebben zij mede gesteund op specifieke wereldbeelden⁸³, die ooit gangbaar en vanzelfsprekend waren. Zo gold ooit binnen het christendom de centrale positie van de aarde in de kosmos als 'aanvullend bewijs' voor de overtuiging dat het God in zijn schepping om de aarde te doen was, en dat de rest van de kosmos als een soort van 'decor' daaromheen geschapen was. En zo gold het gegeven dat de mens, in onderscheid van alle andere levende wezens, begiftigd was met bewustzijn en gewe-

⁸¹ Ik typeer deze opvatting als 'existentialistisch' omdat zij in tweede helft van de 20^e eeuw expliciet werd uitgedragen onder deze naam, geïnspireerd door auteurs zoals de jonge Jean-Paul Sartre (1938, 1943), als een levensbeschouwing die zich profileerde als radicaal alternatief voor metafysisch-apriorische levensbeschouwingen.

⁸² Het geloof in de kenbaarheid van de zin van de geschiedenis door een dialectische geschiedenisbeschouwing, zoals het dialectisch idealisme volgens Hegel of het dialectisch materialisme volgens Marx, kan beschouwd worden als een alternatief voorbeeld hiervan.

⁸³ In wezen niet anders dan de eerder geschetste 'sciëntistische' positie, die immers ook steunt op een specifiek wereldbeeld.

ten als 'aanvullend bewijs' voor overtuigingen zoals: dat alleen de mens naar het beeld van God geschapen is; dat de mens 'de kroon der schepping' is; en dat de mens in die schepping terecht een heersende positie inneemt. Door dit steunen op aanvullend 'empirisch bewijs' ontstonden er logischerwijs spanningen op het moment dat deze wereldbeelden in de wetenschap verlaten werden. De opvatting van de aarde als het centrale werk van Gods schepping was moeilijker verenigbaar met het copernicaanse wereldbeeld, en de opvattingen over de speciale positie, rechten en verantwoordelijkheden van de mens waren moeilijker verenigbaar met de darwinistische visie op de mens als een soort onder de soorten.

In de huidige tijd kiezen aanhangers van deze levensbeschouwelijke positie in het algemeen één of beide van onderstaande strategieën om hun opvattingen te verdedigen:

- Men wijst op 'lacunes' of onzekerheden in wetenschappelijke wereldbeelden, die volgens deze benadering wijzen op de blijvende noodzaak (of op zijn minst de blijvende mogelijkheid) van aanvullende verklaringen uit de sfeer van 'geloven'⁸⁴.
- Men brengt een strikte boedelscheiding aan tussen de sferen van 'gelooft' en 'wetenschap'⁸⁵.

In pedagogisch opzicht impliceert vooral deze laatste keuze dat opvoeders het als hun opdracht zien om jonge mensen te ondersteunen in het leerproces om als het ware 'in twee werelden te leren leven'. Zij moeten leren leven in en met de onbezielde wereld van natuurwetenschap en technologie, die enerzijds veel te bieden heeft, en waarvan anderzijds ook de beperktheid begrepen moet worden. Zij moeten daarnaast leren leven in de wereld van geloof en ethiek (of 'spiritualiteit'), die onder de regie staat van voorgegeven waarden en normen, waar de wetenschap geheel buiten staat.

⁸⁴ Denk bijvoorbeeld aan de discussies rond het promotie-onderzoek van Joris van Rossum, die in de evolutionaire verklaring van seksualiteit een dergelijke lacune herkent (Lindhout, 2013).

⁸⁵ Als indrukwekkend voorbeeld hiervan zie ik Bonhoeffers reflecties in de gevangenis, in juni 1944, waarbij hij refereert aan de cultuur-historische ontwikkeling waarin de 'hypothese God' steeds meer terrein verloor. Bonhoeffer bepleit de keuze om God niet langer te beschouwen als 'gatenvuller', die de lacunes in het wetenschappelijke wereldbeeld opvult, maar om te accepteren dat we in de wereld van wetenschap en technologie moeten leven 'etsi Deus non daretur' (alsof er geen God zou zijn). Met deze laatste uitdrukking citeert Bonhoeffer Hugo de Groot, die in de 17e eeuw stelde dat de geldigheid van het natuurrecht onafhankelijk was van godsgeloof of openbaring, en die daarmee, zoals ook andere 17e-eeuwers, een belangrijke stap zette in de secularisering van het wereldbeeld (Nellen, 2007, p. 312). Bonhoeffer bepleit het radicaal accepteren van deze secularisering. Zijn consequentie is het aanvaarden van een nieuw godsbeeld: de onmachtige, lijdende God. Zijn inspiratiebron is de bijbelse traditie van een God die "juist door zijn onmacht in de wereld macht en plaats gewint" (1964, pp. 173-175). Daarmee beperkt Bonhoeffer de relevantie van deze 'zwakke God' tot het domein van compassie en ethische verantwoordelijkheid.

Uit bovenstaande beschrijving blijkt duidelijk dat ook deze levensbeschouwelijke positie en haar pedagogische implicaties berusten op *interpretaties* van wetenschappelijke opbrengsten en ontwikkelingen, en op *interpretaties* van de verhouding tussen 'wetenschappelijke kennis' en 'geloofskennis'. En opnieuw kan geconstateerd worden dat het ontwikkelen, kritisch bediscussiëren en evalueren van deze interpretaties een taak is die tot het terrein van de wetenschapsfilosofie behoort.

De communitarisch-dialogische positie

Mijn begripsbepalingen van 'pedagogie' en 'vorming' in de voorafgaande hoofdstukken vertegenwoordigen een derde positie in de hier geschetste levensbeschouwelijke controverse. Een positie die zowel het uitgangspunt is van deze studie, als ook een door middel van deze studie te verdedigen positie.

Vanuit deze derde positie worden de andere twee posities gezien als de 'Scylla en Charibdis' van levensbeschouwing, ofwel: als te vermijden klippen.

Het vermijden van de 'sciëntistische' klip impliceert dat men kiest voor de opvatting dat natuurwetenschappen berusten op reductie van 'rijke' werkelijkheid tot objecten van onderzoek, waarvan alleen die kenmerken in aanmerking genomen worden, die de natuurwetenschap volgens haar methode kan hanteren. Dat er in de natuur van de natuurwetenschap geen betekenis of zin te ontdekken valt, hoeft volgens deze opvatting geen verwondering te wekken, omdat de selectieve werking van de 'bril' van de natuurwetenschap het ontdekken van dergelijke aspecten bij voorbaat al uitsluit. Dat er in deze natuurvoorstelling geen betekenis of zin te ontdekken valt bewijst volgens deze opvatting dus helemaal niets op het gebied van betekenis en zin.

Het vermijden van deze opvatting impliceert ook het vermijden van haar 'existentialistische' complement. Bij deze vermindering is het uiteraard de opgave om in reactie niet weer uit te komen bij de andere klip die men wil vermijden, het geloof in een absolute voorgegeven zin. De 'tussenweg' komt dan bijvoorbeeld uit bij de opvatting dat het voor een mens, en zeker voor een individu, onmogelijk is om van nul af aan betekenis- en zingevingen uit te vinden. Zoals ieder mens ook niet van nul af aan een taal kan uitvinden, maar moet voortborduren op zijn moedertaal, zo geldt dit ook voor alle aspecten van zin- en betekenisgeving. Ook al is er geen sprake van apriorische zingevende kaders in absolute zin, voor ieder mens is er, in de concrete gemeenschap en in de concrete subcultuur waarin deze wordt opgevoed, wel sprake van gegeven zingevende kaders die fungeren als een onmisbare 'voedingsbodemp' voor de ontwikkeling van zijn eigen zin- en betekenisgeving. De vrijheid van de mens op dit gebied is dus zeker niet ongelimiteerd, maar bepaald en beperkt door de historisch gegroeide kaders van de (sub)culturen en

gemeenschappen waarin men opgroeit en leeft⁸⁶. Eén van de vertakkingen van deze tussenweg beschouwt (ver-) 'antwoordelijkheid' als essentie van laatstgenoemde vrijheid. Deze opvatting (die men als 'dialogisch' kan typeren), houdt in dat de eigen zin- en betekenisgevingen van een mens bepaald worden door concrete betekenisvolle ontmoetingen, die een mens met specifieke vragen of uitdagingen confronteren, of door andere concrete betekenisvolle gebeurtenissen waar men met zijn daden en woorden een antwoord op kan geven⁸⁷.

Het vermijden van de 'metafysisch-apriorische' klip impliceert het benadrukken van het zojuist genoemde belang van concrete zingevende ervaringen⁸⁸, zoals ontmoetingen of andere betekenisvolle gebeurtenissen. De concrete vernieuwingen waartoe dergelijke ervaringen mensen kunnen inspireren illustreren dat gegeven kaders nooit voor altijd vaststaan, maar door concrete mensen in concrete situaties (schepsels én scheppers van cultuur) voortdurend verbeterd, aangevuld, vernieuwd, kortom: verder ontwikkeld kunnen worden.

Het vermijden van deze klip impliceert daarnaast het afwijzen van een strikte boedelscheiding tussen 'wetenschap' enerzijds en 'geloof, zingeving, ethiek' anderzijds. Volgens deze opvatting is een levensbeschouwing, die zich bij voorbaat defensief opstelt bij dissonanties die wetenschappelijk-technologische en andere ontwikkelingen met zich meebrengen, onvruchtbaar. De voorkeur wordt gegeven aan een levensbeschouwing die zich door deze veranderingen laat inspireren tot kritische discussie en vernieuwing, en die voorkomt dat de cultuur wordt ingedeeld in gescheiden terreinen die elkaars ontwikkeling negeren (of indammen, afremmen, en dergelijke), in plaats van elkaar te inspireren⁸⁹.

Voor opvoeders impliceert de communitarische dimensie van hun levensbeschouwing dat zij het als hun opdracht zien om jonge mensen in te wijden en in te leiden in de bestaande cultuur, zodat zij in staat gesteld worden om zich te ontwikkelen tot en als actieve 'cultuurdragers'. De opvattingen van de cultuur-historische school (Vygotsky, 1978) sluiten goed aan bij deze levensbeschouwelijke positie. De school heeft vanuit deze opvatting een belangrijke taak, omdat alle schoolvakken, niet alleen instrumenteel maar

⁸⁶ Een voorbeeld van deze opvatting is de in hoofdstuk 2 reeds genoemde opvatting van Landmann, dat de mens een '*schepsel*' is van zijn cultuur (pagina 37). Daarnaast moeten in dit verband natuurlijk de auteurs genoemd worden die tot de communitaristische beweging (Etzioni, 2013) gerekend worden, zoals onder andere MacIntyre (1981) en Taylor (2007).

⁸⁷ Vertegenwoordigers van deze opvatting vindt men vooral in de sfeer van de filosofie van de dialoog, met auteurs zoals onder andere Buber (1966) en Levinas (1968).

⁸⁸ Zie mijn toelichting op het begrip 'zingevende ervaringen' in hoofdstuk 2 pagina 43.

⁸⁹ Een dergelijke opstelling wordt bijvoorbeeld, op het gebied van medische ethiek, verdedigd door Simone van der Burg (2008).

ook als voertuigen van zin en betekenis, aspecten vertegenwoordigen van de culturele erfenis die aan een nieuwe generatie overgedragen moet worden. Daarnaast belichaamt de school uiteraard ook in haar schoolcultuur en werkklimaat andere aspecten van de bestaande cultuur, waartoe een nieuwe generatie wordt uitgenodigd om zich die eigen te maken.

De dialogische dimensie van hun levensbeschouwing impliceert voor opvoeders dat zij het als hun opdracht zien om jonge mensen te stimuleren en te ondersteunen om hun eigen zingevende (c.q. inspirerende) ervaringen serieus te nemen en daarvan te leren. Zij achten dit nodig om hen in staat te stellen en aan te moedigen om zich te ontwikkelen tot actieve vormgevers en vernieuwers van de cultuur, van de samenleving, en van hun eigen leven⁹⁰.

Deze derde levensbeschouwelijke positie en haar pedagogische implicaties berusten opnieuw duidelijk (mede) op uitgangspunten en benaderingen met een wetenschapsfilosofisch karakter.

Tenslotte

De hier gegeven beschrijving van drie levensbeschouwelijke posities berust op een (partijdige) indeling door auteur dezes, die uiteraard ook door andere indelingen vervangen of verbeterd kan worden. Het lijkt mij echter op grond van mijn beschouwing wel aannemelijk, dat het ook bij andere indelingen duidelijk zal worden dat levensbeschouwelijke posities pedagogische consequenties hebben, en ook aannemelijk dat deze beiden verband houden met filosofische interpretaties van wetenschap en techniek. Omdat opvoeding nu eenmaal niet waarde vrij kan zijn moeten opvoeders kleur bekennen, en omdat ook een waarde vrije interpretatie van wetenschap en techniek onmogelijk is, moet dit kleur bekennen samengaan met de keuze voor een wetenschapsfilosofische methode die daarbij past.

2.c Conclusie

Met het voorafgaande hoop ik duidelijk gemaakt te hebben dat het komende verkennende onderzoek, zowel rekening moet houden met het belang van interdisciplinaire samenwerking als met het belang van de voor deze studie gekozen levensbeschouwelijk-pedagogische positie.

In de nu volgende paragraaf zullen enkele consequenties van het voorafgaande nader uitgewerkt worden.

⁹⁰ Zie mijn uitwerking van het vormingsconcept in § 3.a van hoofdstuk 2.

3 METHODE EN BEPERKING

De twee hierboven genoemde belangen zullen vertaald worden in twee globale methodische richtlijnen. Daarnaast zal blijken hoe gangbare afbakeningen tussen wetenschapsgebieden en -methoden door recente ontwikkelingen in de biologie ondermijnd en doorbroken worden. Zodoende noodzaken deze ontwikkelingen tot het actualiseren van eerdere visies op de verscheidenheid van wetenschappen. Een actualisering, waarvan verwacht mag worden dat deze consequenties heeft voor het onderscheiden en positioneren van de verschillende modi van gevolgijsheid waar een deel van de vraagstelling van het onderzoek betrekking op heeft.

3.a Het vermijden van reductionisme en dualisme

Zoals ik eerder beschreef leidt het vermijden van de scientistische klip (pagina 92) tot de keuze voor de opvatting dat natuurwetenschappen berusten op *reductie* van de 'rijke' (of 'volle') werkelijkheid tot slechts enkele aspecten. In de wetenschapsfilosofische literatuur wordt de term '*reductionisme*' gebruikt als typering van het tegenovergestelde van de bovengenoemde keuze, namelijk: het standpunt dat men alle wetenschappen op één methodologische noemer kan brengen (van Peursen, 1969, p. 9). Meestal is die ene methodologische noemer de natuurwetenschappelijke methode, en dan komt dit reductionisme dus neer op de opvatting dat er maar één juiste wetenschappelijke methode is, die van de natuurwetenschappen, en dat deze methode op alle wetenschapsgebieden toegepast moet worden⁹¹. Wanneer ik deze terminologie volg, dan kan mijn keuze voor het vermijden van de scientistische klip adequaat vertaald worden in een methodische richtlijn voor wetenschapsfilosofie, namelijk: *het vermijden van reductionisme*.

Het vermijden van reductionisme is daarnaast ook relevant voor het eerste van de twee genoemde belangen, de interdisciplinaire samenwerking bij praktijkgerichte onderzoeks- en ontwikkelprojecten (pagina 86 tot 88). Wanneer immers bij een dergelijke samenwerking de opvatting heerst dat alle disciplines de regie moeten accepteren van methoden die uit de koker van één wetenschap afkomstig zijn, dan krijgt deze samenwerking een ongelijkwaardig karakter. Deze samenwerking wordt veel gelijkwaardiger wanneer elke discipline zijn reducties erkent, en zodoende ook erkent hoe verschillende wijzen van reduceren corresponderen met verschillende methoden en met verschillende mogelijkheden en beperkingen in de resultaten die bereikt kunnen worden.

⁹¹ Het is dus ook duidelijk dat de term '*reductionisme*' door de tegenstanders van deze opvatting is uitgevonden.

Een andere belangrijke keuze die om vertaling vraagt, is de afwijzing van boedelscheidingen. Zowel de boedelscheiding tussen onderzoeksbenaderingen die methodisch sterk van elkaar verschillen (pagina 88), als de boedelscheiding tussen 'wetenschap' enerzijds en 'geloof, zingeving of ethiek' anderzijds (pagina's 91 en 93).

Door wetenschapsfilosofische auteurs worden de visies die strikte boedelscheidingen tussen wetenschappen onderling, of tussen wetenschappelijke en niet-wetenschappelijke benaderingen, propageren wel aangeduid als *dualistisch* (van Peursen, 1969, p. 9). Wanneer ik deze terminologie volg, dan kan ook mijn keuze voor het afwijzen van de diverse boedelscheidingen vertaald worden in een methodische richtlijn voor wetenschapsfilosofie, namelijk: *het vermijden van dualisme*.

Nu kan men bij de bovenstaande argumenten tegenwerpen dat voorkeuren en voordelen die aan praktijk en levensbeschouwing ontleend zijn nog geenszins garanderen dat een wetenschapsfilosofie die reductionisme en dualisme vermijdt ook inhoudelijk consistent en verdedigbaar kan zijn. Deze tegenwerping is terecht. De genoemde voorkeuren en voordelen kunnen wel motiveren tot de poging om een wetenschapsfilosofie te ontwikkelen die aan deze criteria voldoet, maar het resultaat van die poging kan pas aantonen dat het afwijzen van reductionisme en dualisme ook filosofisch (c.q. wetenschapstheoretisch) verdedigbaar is. Wat dit laatste betreft beschouw ik de wetenschapsfilosofie die Van Peursen⁹² in de 60er jaren van de vorige eeuw ontwikkelde (1969) nog steeds als een goed voorbeeld. Hij nam deze twee vermijdingen als uitgangspunt, en tegelijk ook als via zijn betoog te verdedigen stellingname. Naar mijn oordeel lukte het aan Van Peursen inderdaad om, naar de stand van de wetenschap in die tijd, een wetenschapsfilosofie te ontwikkelen die de vermijding van reductionisme en dualisme goed kon verdedigen. In zijn navolging zal ik in de delen II en III een geactualiseerde wetenschapsfilosofie ontwikkelen (beperkt tot reflectie op wiskunde en fysische wetenschappen), die er blijk van geeft dat men nog steeds op goede gronden de vermijding van reductionisme en dualisme kan bepleiten.

3.b Recente ontwikkelingen in de biologie

Het zijn vooral recente ontwikkelingen in de biologie die, naar mijn overtuiging, een geactualiseerde wetenschapsvisie nodig maken. Deze ontwikkelingen hebben de verhoudingen tussen verschillende wetenschappen ingrijpend veranderd, en dwingen ook

⁹² Die aan de Vrije Universiteit mijn leermeester was op het gebied van wetenschapsfilosofie.

tot ingrijpende veranderingen in de mensbeelden die traditioneel ten grondslag lagen aan de pedagogische praktijk en de pedagogische wetenschap⁹³.

Deze ontwikkelingen liggen uiteraard in het verlengde van de evolutietheorie die al sinds de 19^e eeuw afbreuk doet aan oude voorstellingen van de mens als de 'kroon der schepping', en als een wezen met een andere oorsprong en een andere aard dan alle andere levende wezens. Zoals de aarde in de moderne kosmologie zijn centrale positie in de kosmos verloor, zo verloor de mens door de evolutietheorie zijn aparte positie in de levende natuur en werd 'een soort onder de soorten'.

Dit perspectief op de mens als één van de biologische soorten stimuleerde tot nieuwe opvattingen van de onderscheidende kenmerken, die de mens doen verschillen van alle andere biologische soorten, zoals: moraliteit⁹⁴, (zelf)bewustzijn⁹⁵, of cultuur⁹⁶. Op deze onderscheidende kenmerken waren (en zijn) ook wetenschappelijke afbakeningen gebaseerd. Zonder dergelijke afbakeningen zouden de mens-, cultuur- en geesteswetenschappen immers in principe gereduceerd kunnen worden tot onderafdelingen van de biologie.

Recente ontwikkelingen in de biologie maken echter een opnieuw doordenken van deze onderscheidingen en afbakeningen nodig. Voorbeelden van dergelijke ontwikkelingen zijn:

- ⁹³ Op zijn website voert Harry Kunneman in twaalf colleges een pleidooi voor *Een nieuwe menswetenschap*, voor een groot deel op grond van dezelfde ontwikkelingen in de biologie die hier geschetst worden (zie www.kunneman.org). De ontdekking van deze bron kwam te laat om nog te kunnen gebruiken voor mijn onderzoek.
- ⁹⁴ De opvatting dat de mens zich door zijn moraliteit zou kunnen (en/of moeten) onderscheiden kwam voort uit de voorstelling van de evolutie als een a-moreel proces dat meedogenloos de zwakkeren doet (uit)sterven en alleen de sterkeren doet overleven. Deze voorstelling hing nauw samen met de praktisch gelijktijdige opkomst van het sociaal-darwinisme dat deze voorstelling ook economisch van toepassing achtte, en zodoende deze voorstelling van de amorele 'survival of the fittest' (Spencer, 1895) nog versterkte. Dat deze voorstelling nog steeds gangbaar is blijkt bijvoorbeeld uit (Dawkins, 1976). Deze voorstellingen hebben tot verschillende reacties geleid. In navolging van Spencer waren er velen die concludeerden dat het dus ook juist en 'natuurlijk' is wanneer in economie en samenleving alleen de sterken overleven; anderen benadrukten daartegenover bijvoorbeeld de veel oudere traditionele voorstelling dat de mens inderdaad 'van nature' geneigd is tot alle kwaad, en slechts door bovennatuurlijk ingrijpen (of een breuk met de eigen natuur) in staat is tot het goede (Synode, 1933, p. 1).
- ⁹⁵ Denk bijvoorbeeld aan de voorstelling van de mens als ex-centrisch wezen door Helmuth Plessner (1928).
- ⁹⁶ Denk bijvoorbeeld aan de voorstelling van de mens als 'Mängelwesen' (door natuurlijke tekorten aangewezen op cultuur) door Arnold Gehlen (1940). Ook in de al eerder aangehaalde werken van Michael Landmann (1961, 1966) wordt de mens als cultuurwezen getypeerd.

- De voorstelling dat alleen de mens een 'ex-centrisch' wezen is, dat begiftigd is met zelfbewustzijn wordt door biologen, zoals De Waal, bijvoorbeeld gelogenstraft met spiegelproeven die overtuigend aantonen dat er vrij veel soorten zijn (zoals primaten, maar ook vele andere zoogdieren, en sommige vogels), die duidelijk een bewustzijn van zichzelf te kennen geven. Ook perspectiefname, het vermogen om zich in te denken dat de wereld er vanuit het bewustzijn en de ervaringen van een ander individu anders uit kan zien en anders gewaardeerd kan worden, is proefondervindelijk bij allerlei soorten geconstateerd (de Waal, 2009, 2013; Engels, 2013).
- In het verlengde van dit onderzoek naar zelfbewustzijn en perspectiefname levert recent onderzoek steeds meer aanwijzingen op, dat er ook soorten zijn die, net als de mens, beschikken over vermogens tot empathie en compassie; dat ook dieren diep geraakt kunnen zijn door het sterven of lijden van andere individuen, en daar uiting aan geven; dat ook dieren na een conflict verlangen naar verzoening; dat ook dieren voorbeelden laten zien van altruïstisch gedrag (ook soort-overstijgend), zelfs als dit met hoge kosten (zoals gevaar voor eigen leven) gepaard gaat⁹⁷. Het claimen van moraliteit als niet-natuurlijk of exclusief kenmerk van de mens lijkt op grond van al dit onderzoek niet langer houdbaar.
- Onderzoek naar de ontwikkeling van de mens als biologische soort heeft de hypothese bevestigd dat deze ontwikkeling voor verschillende aspecten (ontwikkeling van de hand, ontwikkeling van het brein, etc.) het resultaat is van interactie tussen culturele ontwikkeling en genetisch-evolutionaire ontwikkeling. Cultureel ontstane leefwijzen en leefsituaties creëren bij mensen een 'omgeving' die mede bepaalt welke kenmerken met succes erfelijk worden doorgegeven. En omgekeerd bepalen erfelijk succesvolle kenmerken ook de 'speelruimte' van culturele ontwikkeling⁹⁸. Onderzoekers die langlopend longitudinaal onderzoek doen naar de ontwikkeling van gedrag in dierengemeenschappen hebben echter veel bevestiging gevonden voor de hypothese dat deze interactie tussen culturele- en evolutionaire ontwikkeling ook bij sommige diersoorten de ontwikkeling bepaalt. Ook bij dieren kunnen worden gevonden die 'toevallig-speels' gevonden zijn, van generatie op generatie via culturele traditie overgeleverd en verder ontwikkeld worden. Ook bij deze diersoorten ontstaan zodoende leefwijzen en leefsituaties die een 'omgeving' vormen die invloed uitoefent op de genetisch evolutionaire ontwikkeling (Goldschmidt, 2008; van Hooff, 2007). In de titels van biologische publicaties duiken uitdrukkingen op zoals 'cul-

⁹⁷ Zie de voorbeelden in (de Waal, 2009, 2013) en de voorbeelden die men op YouTube kan vinden bij zoektermen zoals "animal altruïsm" waaronder het beroemde voorbeeld van de "Selfless Dog" <http://www.youtube.com/watch?v=VYZQbZ1jK58>.

⁹⁸ Deze plausibele hypothese werd al door Darwin geformuleerd, maar bleek ook moeilijk (achteraf) toetsbaar. De duidelijkste bevestiging kon afgeleid worden uit archeologische vondsten die correlaties laten zien tussen toenemende complexiteit van gereedschappen en gelijktijdige evolutionaire ontwikkeling van de hand (Key & Lycett, 2011; Tuttle, 2015).

ture' en 'tradition' (Fragaszy & Perry, 2003; Kawai, 1965; Nishida, 1987). Ook als cultuurwezen lijkt de mens dus niet volstrekt van andere soorten te verschillen.

- In het verlengde daarvan ligt de methodologisch interessante ontwikkeling, dat biologen bij het zoeken naar verklaringen voor dierlijk gedrag niet alleen een 'evolutionaire bril' hanteren, maar ook een 'psychologische bril'. Zowel Goldschmidt (2008, p. 16) als De Waal (2009, pp. 253-254) verwijzen hierbij naar het onderscheid tussen 'proximate reasons' en 'ultimate reasons' dat sinds de 60er jaren van de vorige eeuw in de biologie gangbaar is geworden. Daarbij refereren de 'ultimate reasons' aan de bekende verklaringen van gedragsvormen op grond van evolutionaire nuttigheid, terwijl de 'proximate reasons' refereren aan verklaringen op grond van "autonome motivatie", ofwel verklaringen op grond van "emotie, motivatie en cognitie". De Waal benoemt dit laatste perspectief op gedrag ook expliciet als 'psychologisch' (2009, p. 55), en even later blijkt zelfs dat dit een psychologie is met een essentiële hermeneutische component. Dit blijkt, wanneer hij duidelijk maakt dat 'empathie' niet alleen een kenmerk is van de voorwerpen van zijn onderzoek, maar dat hij zelf als onderzoeker empathie inzet als onmisbaar instrument voor het interpreteren van dierlijk gedrag⁹⁹. Op deze manier wordt in de biologie een methode binnengehaald die traditioneel voorbehouden leek te zijn aan de geesteswetenschappen.

Deze en dergelijke ontwikkelingen geven veel te denken. Vooral over de vraag, hoe men de verschillende wetenschappen en de verschillende soorten van samenhangen die zij aan het licht brengen in een onderling verband kan plaatsen. In verband met deze vraag, werd ik gewezen¹⁰⁰ op de wetenschapsvisie van de theoretische bioloog Robert Rosen (1991)¹⁰¹. Zijn benadering bleek de vermijding van reductionisme en dualisme gemeen te hebben met de mij al bekende benadering door Van Peursen. Daarbij bleek Rosen het bestaan van de verschillende soorten van samenhangen, die wetenschap aan het licht

⁹⁹ "Voor mijn beroep moet je je op dieren kunnen afstemmen. Het zou vreselijk saai zijn als je ze uren zou gadeslaan zonder enige vorm van identificatie met ze, zonder enige intuïtie over wat er gebeurt, en zonder hoogte- en dieptepunten te doorstaan in verband met hun hoogte- en dieptepunten. Ik verdien de kost met empathie, en ik heb heel wat ontdekkingen gedaan door het leven van dieren nauwlettend te volgen en pogingen te doen om te begrijpen waarom ze handelen zoals ze handelen. Daarvoor is het nodig om diep in ze door te dringen. Ik heb daar geen problemen mee, ik houd van dieren en respecteer ze, en ik geloof dat dat me een betere onderzoeker maakt." (2009, pp. 104-105).

¹⁰⁰ Door prof. Gerard de Zeeuw.

¹⁰¹ *Life Itself* kan beschouwd als het hoofdwerk van Rosen. Uiteraard is deze publicatie voorafgegaan door een reeks andere publicaties, en ook gevolgd door andere publicaties, met name door auteurs die in zijn lijn verder gewerkt hebben. *Life Itself* bleek echter al dermate inhoudrijk en gecompliceerd dat ik mij, in het kader van deze studie, tot de bestudering van dit werk heb beperkt.

kan brengen, expliciet te thematiseren onder de noemer van 'entailment' (door mij vertaald als 'gevolglijkheid'). Rosen's beschouwingen concentreren zich op de eigen plaats van de biologie te midden van natuurwetenschappen en technologie. Hij markeert die eigen plaats op grond van zorgvuldige analyses van de verschillende soorten van 'orde' of 'organisatie' die verschillende disciplines aan het licht brengen, in samenhang met de verschillende geaardheden van de conceptuele hulpmiddelen die zij daarbij inzetten. De methode die Rosen bij zijn analyses hanteert kan getypeerd worden als '*modelbenadering*'. Deze benadering komt erop neer dat er consequent onderscheid gemaakt wordt tussen enerzijds de 'originele' gevolglijkheid die eigen is aan een object van onderzoek, en anderzijds de 'afgebeelde' (logische, conceptuele) gevolglijkheid van de voorstelling in taal, *het model*, dat onderzoekers van hun object en zijn originele gevolglijkheid maken. Deze modelbenadering kan beschouwd worden als een positieve vertaling van de hiervoor negatief geformuleerde richtlijnen van het vermijden van reductionisme en dualisme. Daarom zal ik, in navolging van Rosen, zelf ook deze modelbenadering als methode hanteren bij het uitvoeren van de taakstelling voor de delen II en III (zie pagina 79)¹⁰².

De modelbenadering is een methode die vooral geschikt is om de karakteristieke kracht én beperkingen van een bepaalde tak van onderzoek aan het licht te brengen. In het geval van fysisch onderzoek komt Rosen tot de conclusie, dat deze tak van wetenschap haar objecten in principe altijd voorstelt als '*mechanismen*'. Op basis van deze conclusie ontwikkelt Rosen vervolgens zijn analyse van het niet-reduceerbare onderscheid tussen fysische wetenschap en biologie. Voor de uitvoering van mijn verkenning van de exacte disciplines is het van cruciaal belang om na te gaan of Rosens karakterisering van het familielid fysisch onderzoek, als 'mechanisme-wetenschap', nog steeds¹⁰³ verdedigbaar is, en of ik zelf ook op deze conclusie kan voortbouwen. Om die reden is ook het nagaan van de juistheid van deze karakterisering door Rosen een belangrijk aspect van de methode die ik in deel III, met name in de hoofdstukken 11 en 13 zal volgen.

Maar, een geslaagde niet-reductionistische positionering van biologie ten opzichte van 'mechanisme-wetenschappen' leidt nog niet tot een niet-reductionistische positionering van mens- en cultuurwetenschappen ten opzichte van biologie. Voor die laatste positionering moet eerst een oplossing gevonden worden voor het hierboven geschetste 'demarcatie probleem' dat door nieuwe ontwikkelingen in de biologie wordt opgeroepen.

Een goed aanknopingspunt voor een benadering van mens- en cultuurwetenschappen die reductionisme vermijdt is het gegeven dat de nieuwe ontwikkelingen in de biologie niet tornen aan het verschil dat mensen als enige soort *taal* gebruiken. Daarbij moet aangetekend worden dat daarmee *niet* bedoeld is dat dieren geen betekenis ver-

¹⁰² Een nadere reflectie op deze 'modelbenadering' is te vinden in deel II, hoofdstuk 10, § 2.b / *Ondersteunen dát leraren wiskunde geïnspireerd worden / Inhoudelijk schoolbreed.*

¹⁰³ Rosens onderzoek dateert immers uit 1991.

staan of geven. In tegendeel, bij veel dieren is duidelijk dat hun wereld, net als de mensenwereld, geladen is met betekenissen. Om te kunnen onderscheiden wat dan toch het verschilpunt tussen mensen en dieren is, is de semiotiek van C.S. Peirce (eind 19e - begin 20e eeuw) verhelderend. Volgens Peirce is een teken "something which stands to somebody for something". Hij onderscheidt vervolgens drie soorten van tekens (Atkin, 2013, p. 7):

1. *Iconen*, tekens die een betekenis hebben op grond van gelijkenis (denk bijvoorbeeld aan het verkeersbord bij gevaar voor vallende stenen).
2. *Indexen*, tekens die een betekenis hebben omdat zij op één of andere wijze gerelateerd zijn met hun referent (bijvoorbeeld causaal, "waar rook is is vuur"; of bij een geconditioneerde associatie, "een bel betekent eten").
3. *Symbolen*, tekens die een betekenis hebben op grond van afspraken (zoals de meeste woorden in taal).

Deze driedeling kan nu gebruikt worden om grip te krijgen op het onderscheidende van menselijke taal. Men kan stellen dat de betekenisfuncties van iconen en indexen niet uitsluitend aan mensen voorbehouden zijn, maar dat alleen mensen uit zichzelf taal gebruiken en ontwikkelen die (mede) op het gebruik van afgesproken symbolen is gebaseerd. Daarom zal in hoofdstuk 14 (deel III) de functie van taal (als 'interface') een methodische sleutelrol toebedeeld krijgen bij de verkenning van menselijk-culturele fenomenen zoals kennis, wetenschap, macht, ethiek, et cetera.

3.c Familieconcept

De vermijdingen van reductionisme en dualisme leiden, zoals ook Van Peursen betoogt (1969, pp. 9-10), tot een specifieke systematiek voor de voorstelling van het geheel van onderzoeksdisciplines en hun onderlinge samenhang. De vermijding van dualisme (en boedelscheiding) heeft als consequentie dat het systeem niet uiteenvalt in delen die strikt van elkaar te scheiden zijn, en dat zodoende elke tak van wetenschap wel enkele kenmerken (waaronder een deel of aspect van zijn domein) deelt met een andere tak. De vermijding van reductionisme leidt ertoe dat er niet één tak van wetenschap is die de anderen methodisch en qua domein omvat, maar dat de disciplines van elkaar verschillen door het weglaten of erbij nemen van dimensies in de methode, wat correspondeert met het weglaten of erbij nemen van dimensies van hun objecten van onderzoek, wat tenslotte leidt tot verschillende afbakening van hun domeinen.

Wanneer ik de twee vermijdingen nu positief formuleer, dan komen zij erop neer dat elke onderzoeksdiscipline wel iets gemeen heeft met één of meer andere disciplines, maar dat elke discipline ook verschilt van alle anderen door één of meer onderscheidende kenmerken. Zonder aanvullende eisen voldoen deze twee criteria niet als grondslag voor de opbouw van een klassieke indeling in hoofdsoorten en steeds verder vertakte sub-soorten (volgens 'genus proximum' en 'differentia specifica', zoals bijvoor-

beeld de klassieke indeling van het plantenrijk). De samenhang krijgt in dit geval het karakter dat Wittgenstein 'familieverwantschap' noemt, PU § 64 (66), (2001, pp. 112, 256, 494). Bij een dergelijke verwantschap hoeven er niet één of meer kenmerken te zijn aan de hand waarvan de familie als geheel precies gedefinieerd (afgegrensd) kan worden, maar vormt de familie toch een geheel omdat ieder lid wel enkele kenmerken gemeen heeft met één of meer andere leden van de familie. Dit wittgensteiniaanse familieconcept is in het voorafgaande al toegepast bij de vraagstelling voor het verkennende onderzoek (pagina 77).

3.d **Beperking**

Tenslotte vermeld ik hier een typerende beperking, die een consequentie is van de gekozen uitgangspunten en methode. Het vermijden van reductionisme heeft tot gevolg dat bijvoorbeeld levende systemen alleen adequaat als 'levend' onderzocht kunnen worden wanneer de onderzoeker een 'bril' hanteert die meer dimensies van een onderzoeksobject zichtbaar maakt dan de 'bril' die onderzoekers hanteren die dode systemen onderzoeken. Een dergelijke voorstelling-van-zaken maakt het dus onmogelijk om vanuit de fysische of technologische wetenschappen de vraag te beantwoorden, hoe levende systemen uit dode systemen kunnen ontstaan. Of, preciezer gezegd, binnen deze voorstelling is een dergelijke vraag onzinnig. Daarom komt bijvoorbeeld ook in *Life Itself* van Robert Rosen de vraag naar de 'emergentie' van het leven uit dode systemen niet aan de orde. Het accent op de onherleidbaarheid (niet-reduceerbaarheid) van het ene ten opzichte van het andere staat dat in de weg. Een beschouwing van de continuïteit en discontinuïteit tussen dode en levende natuur is volgens deze benadering alleen goed mogelijk, door vanuit de hogere complexiteit van levende systemen en biologie als het ware 'terug te kijken' naar de simpeler systemen van mechanismen en machines. Alleen vanuit die blikrichting heeft het zin om de term 'emergentie' te hanteren. Het wonder, dat in de discontinuïteit tussen dode en levende natuur geïmpliceerd is, wordt dan niet reductionistisch 'wegverklaard'. In de literatuur kan men daarom de onderscheiding aantreffen tussen 'zwakke emergentie' en 'sterke emergentie'. Met '*sterke emergentie*' wordt dan bedoeld dat waarheden betreffende een verschijnsel van een hoger complexiteitsniveau *zelfs in principe niet afleidbaar zijn* van waarheden betreffende verschijnselen van een lager complexiteitsniveau (van der Wal, 2011, p. 285).

DEEL II

Wiskunde en Vorming

Inhoudsopgave

	Inleiding	109
Hoofdstuk 4	Meetkunde en rekenkunde	111
	1 Onderzoek en gevolgiijkheid	111
	1.a Idealiseren en abstraheren	111
	1.b Modelvorming	112
	2 Historische gevolgen	114
	2.a Axiomatisering	115
	2.b Wereldbeeld	118
Hoofdstuk 5	Formele wiskunde	121
	1 In abstracto spelen met formele alternatieven	122
	2 Axiomatisering van algebra en getaltheorie	125
	3 Formaliseren	127
	3.a Formaliseren als het expliciteren van spelregels	127
	3.b Het onderscheiden van taalniveaus	129
	3.c Het model als isoleercel	132
	3.d De identiteit van wiskunde	135
	4 Nieuwe problemen	138
	4.a Het consistentieprobleem	138
	4.b Het volledigheidprobleem	141
	5 Kurt Gödel	141
	5.a Het bewijs	142
	5.b Ontwikkelingen	146
	5.c Interpretatie	147
	5.d Conclusie en vervolgvragen	148
Hoofdstuk 6	Machinematig denken	149
	1 Alonzo Church en Alan Turing	150
	1.a De stelling van Church en Turing	150
	1.b Ontwikkelingen	155
	1.c Interpretaties en discussies	156
	1.d Conclusies	159
	2 John Searle en de Chinese kamer	161
	2.a De hoge verwachtingen van Artificial Intelligence	161
	2.b Achtergrond en uitgangspunt	163
	2.c De Chinese kamer	165
	2.d Conclusie	167
	2.e Het dispuut	168

3	Artificial Intelligence, verwachtingen, risico's, nieuw reductionisme?	171
3.a	Verschillende, elkaar aanvullende intelligenties?	171
3.b	Risico's, concurrerende intelligenties?	176
	<i>Risico's van aanvullende AI</i>	176
	<i>Risico van 'strong AI', of van reductionistische mythevorming?</i>	178
Hoofdstuk 7	Reflectieve samenvatting, aanvullingen, conclusies	183
1	Inspirerende inzichten en essentialistische mythevorming	183
2	Radicale formalisering en de ambitie van het absolute bewijs	185
3	Het bewijs van beperktheid	187
4	Machinematig denken als aanvullend bewijs van beperktheid	189
5	Kunstmatige intelligentie als concurrent?	191
6	AI en HI als elkaar aanvullende intelligenties	194
7	Kunnen machines met leervermogen toch intrinsiek intelligent worden?	195
7.a	Kenmerken van machines met leervermogen	196
7.b	Lerende machine als gereorganiseerde isoleercel	201
8	Wiskunde en intuïtie	204
8.a	Machinematig en creatief denken	205
8.b	Het bewijs als vrucht van twee denkwijzen	205
8.c	Intuïtie als fase van de wiskundige werkwijze	208
9	Conclusies	211
Hoofdstuk 8	De fenomenologische context van intentionaliteit	215
1	Fenomenologie	215
1.a	Husserls Fundamentalbetrachtung	215
1.b	Subjectieve en objectieve lichamelijkheid	218
1.c	Searle's categoriefout	219
2	Fenomenologie, c.q. hermeneutiek als alternatieve kennisbenadering	221
2.a	Hoe merken we het verschil?	221
2.b	Omkering van de verhouding tussen generiek en specifiek	222
3	Conclusies	227
Hoofdstuk 9	Drie familiekwesities	229
1	Positie te midden van de familie	229
1.a	Sterke kanten en beperkingen	229
1.b	Interacties met mens- en wereldbeelden	233
	<i>Wereldbeelden</i>	233
	<i>Mensbeelden</i>	234

	<i>Familie-verhoudingen</i>	235
2	Eisen aan de werkwijze	235
3	Is de samenhang tussen ondersteuning en vorming onderzoekbaar?	237
	3.a Context van de vraag	237
	3.b Formeel onderzoekbare samenhang tussen vorming en ondersteuning	238
	3.c Wiskundige interesse als norm voor vorming en ondersteuning	240
	3.d Aard van de samenhang tussen vorming en ondersteuning	242
	3.e Wiskundige benadering als algemene norm voor kennisontwikkeling	243
	3.f Wiskundige kennisinteresse als gelijkwaardige partner	248
	3.g Conclusies	250
Hoofdstuk 10	De vierde familiekwestie: identiteitskenmerken	253
1	Kansen op vorming	254
	1.a Positief inspirerende ervaringen	254
	<i>Wiskundig inzicht</i>	254
	<i>Competentie</i>	255
	<i>Creatieve geschoolde intuïtie</i>	256
	<i>Het collectieve bouwwerk</i>	257
	<i>Gebruik van kennis en intelligentie van anderen</i>	258
	<i>Samenwerking van AI en HI</i>	259
	<i>Samenhangen ontdekken; vooroordelen ontmaskeren</i>	259
	<i>Helpen en geholpen worden</i>	259
	1.b Negatieve ervaringen	260
	<i>Idolatie verering; benauwende minachting; eeuwige saaigheid</i>	261
	<i>De geschiedenis herhaalt zich</i>	262
	<i>Wederzijds reductionisme</i>	264
	<i>Complementair dualisme</i>	265
	<i>Instabiliteit van dualisme en reductionisme</i>	267
	<i>Waarom?</i>	269
	1.c Herhaling in het onderwijs	270
	1.d Naar inspirerende ervaringen	271
	<i>Intuïtie als inspirerend 'tegenwicht'</i>	271
	<i>Inspirerend leren van geschiedenis</i>	272
	<i>Irreële mythen ontmaskeren, reële risico's doorzien</i>	272
	<i>Fragmentatie en verkokering opheffen</i>	273
	1.e Identiteitskenmerken van schoolleiders	274
	<i>Samenvatting</i>	276

2	Ondersteuning van vorming	277
2.a	Op eerstelijnsniveau	277
	<i>Ondersteunen dát leerlingen geïnspireerd worden</i>	278
	<i>Verder ondersteunen</i>	281
2.b	Op tweedelijnsniveau	282
	<i>Ondersteunen dát leraren wiskunde geïnspireerd worden</i>	282
	<i>Verder ondersteunen</i>	291
2.c	Identiteitskenmerken van schoolleiders	297
	<i>Hoe kunnen schoolleiders zich voorstellen dat leraren wiskunde (...)</i>	298
	<i>Hoe kunnen schoolleiders zich voorstellen dat zichzelf (...)</i>	299
	<i>Samenvatting</i>	302
3	Onderzoek	303
4	Opbrengst	304

Inleiding

De globale probleemstelling die voor dit deel als richtlijn geldt, is de eerste deelvraag die in deel I (hoofdstuk 2, einde § 1) geformuleerd werd. Wanneer ik die deelvraag nu specificer voor het thema van dit deel dan luidt deze:

Welke identiteitskenmerken kunnen er aan bijdragen dat een schoolleider in zijn school goed (en beter) functioneert als pedagogisch leider, ten aanzien van het onderwijs in de wiskunde?

De globale aanpak die in dit deel gevolgd zal worden om tot antwoorden op bovenstaande vraagstelling te komen werd in de inleiding van hoofdstuk 3 geformuleerd in de vorm van een taakstelling, die ik nu eveneens specificer voor het thema van dit deel. Deze gespecificeerde taakstelling luidt nu:

Het ondernemen van een verkennend onderzoek, dat via de omweg van reflectie op mathematische wetenschap uitkomt bij het vormingspotentieel van wiskunde als schoolvak, en uitkomt bij de identiteitskenmerken van schoolleiders, die van belang zijn om te ondersteunen dat dit vormingspotentieel zich realiseert.

In deel I (hoofdstuk 2, § 5.a) werden drie redenen voor het maken van deze omweg gegeven:

- Wanneer onderwijs opgevat wordt als inleiding in cultuur, dan is het van belang om zich te verdiepen in de culturele betekenis van de disciplines waarin de schoolvakken leerlingen inleiden.
- Uit een verkenning van het vormingspotentieel van exacte wetenschappen, als culturele disciplines, kan afgeleid worden wat daarvan in de context van het onderwijs in schoolvakken aan bod kan komen.
- Aan een verkenning van de sterke kanten en beperkingen van exacte wetenschappen kunnen aanwijzingen ontleend worden voor de onderzoekbaarheid van de samenhang tussen ondersteuning en vorming in het onderwijs.

Zoals vervolgens werd aangekondigd zullen de volgende vragen als richtlijn fungeren voor het verkrijgen van de opbrengst van dit deel in de hoofdstukken 9 en 10:

1. *Welke sterke kanten en beperkingen, en welke interacties met mens- en wereldbeelden, karakteriseren dit familielid, mathematica, te midden van de familie als geheel?*
2. *Stelt dit familielid specifieke eisen aan de werkwijze bij onderzoek?*
3. *Kan de samenhang tussen 'ondersteuning' en 'vorming' volgens dit familielid beschouwd worden als een modus van onderzoekbare gevolglijkheid?*
4. *Welke aanwijzingen levert het in dit deel beschreven verkennende onderzoek naar dit familielid op, omtrent identiteitskenmerken die eraan kunnen bijdragen dat een schoolleider goed (en beter) functioneert als pedagogisch leider ten aanzien van het onderwijs in de wiskunde?*

Deze vierde vraag wordt beantwoord aan de hand van drie hulpvragen:

- a. Welke kansen op vorming heeft het schoolvak wiskunde in principe te bieden?
- b. Hoe kunnen schoolleiders zich voorstellen dat leraren wiskunde de vorming van leerlingen ondersteunen, en dat zijzelf de vorming van deze leraren ondersteunen?
- c. Kan men toetsend onderzoek inzetten ter verbetering van de ondersteuning van vorming op school, en zo ja, aan welke eisen moet zulk onderzoek voldoen?

De hoofdstukken 4 t/m 8 bevatten het verkennende onderzoek naar de ontwikkeling van de wiskunde als aspect van cultuur, dat nodig is om de beantwoording van bovenstaande richtvragen in de laatste twee hoofdstukken mogelijk te maken.

Daarbij geeft hoofdstuk 4 een beeld van de oude 'empirische' wiskunde, en loopt uit op een schets van de essentialistische opvatting van deze wiskunde en het daarmee corresponderende wereldbeeld.

In hoofdstuk 5 wordt de overgang gemaakt naar de moderne 'formele' wiskunde. Dit hoofdstuk loopt uit op een behandeling van het 'onvolledigheidsbewijs' van Gödel, en op de opvatting van 'complexiteit' die daaraan ontleend kan worden.

Hoofdstuk 6 beschrijft hoe vervolgvragen op Gödels bewijs de aanzet gaven tot de ontwikkeling van wiskunde en informatica. Dit hoofdstuk loopt uit op beschrijving van de discussies rond Artificial Intelligence (AI), Biological Intelligence (BI) en Human Intelligence (HI) die aan het einde van de vorige eeuw en aan het begin van deze eeuw gevoerd werden.

Lezers voor wie de hoofdstukken 4 t/m 6 te diep of te uitvoerig ingaan op details van de ontwikkeling van wiskunde en informatica kunnen deze hoofdstukken geheel of gedeeltelijk overslaan en direct de sprong maken naar de samenvattingen, aanvullingen en conclusies van hoofdstuk 7. Een nog compactere samenvatting is te vinden in hoofdstuk 9, § 1.

In hoofdstuk 8 worden de benaderingen van fenomenologie en hermeneutiek geïntroduceerd. Het introduceren van deze alternatieve benaderingen wordt nodig geacht omdat de discussies rond AI, BI en HI aanleiding geven tot het vermoeden dat de formeel-syntactiserende benadering van wiskunde en informatica geen recht kan doen aan de complexiteit van menselijke intentionaliteit en menselijke intelligentie.

In hoofdstuk 9 zullen de eerste drie richtvragen ('familiekwesties') beantwoord worden, en in hoofdstuk 10 zal tenslotte de vierde richtvraag ('familiekwestie') beantwoord worden, aan de hand van de drie hulpvragen. Met deze vierde richtvraag is dan tegelijk de aan het begin van deze inleiding genoemde hoofdvraag voor dit deel beantwoord.

HOOFDSTUK 4

Meetkunde en rekenkunde

Wiskunde is ontstaan uit praktische rekenkunde en meetkunde. In dit hoofdstuk zal het oorspronkelijk empirische karakter van wiskunde vooral geïllustreerd worden aan de klassieke meetkunde. Deze illustratie zal tegelijk gebruikt worden om een begin te maken met de in deel I (hoofdstuk 3, § 3.b) aangekondigde modelbenadering, door introductie van het modelconcept van Robert Rosen.

Uit de geschiedenis van de meetkunde zal vervolgens blijken hoe zich al vroeg een tendens manifesteerde om steeds hogere abstractieniveaus te ontwikkelen.

Tenslotte zal een voorbeeld gegeven worden van de manier waarop de fascinatie voor wiskunde, vroeger en nu, invloed kan uitoefenen op het algemene wereldbeeld van haar beoefenaars.

1 ONDERZOEK EN GEVOLGLIJKHEID

Hoe hebben mensen op wiskundig gebied onderzoek ontwikkeld dat leidde tot het ontdekken van gevolgtrekkingen?

Voor de beantwoording van deze vraag moet ik teruggrijpen op de Griekse oorsprongen van onderzoek en wetenschap. Hoewel er ook in andere culturen verwante benaderingen van onderzoek en kennisontwikkeling gevonden kunnen worden, heeft het historisch verloop van wetenschapsontwikkeling erin geresulteerd dat met name de kenmerken van de Griekse benadering tot in de huidige wetenschap hebben doorgewerkt. In deze paragraaf concentreer ik mij daarom op de kenmerken die uit de Griekse onderzoekstraditie zijn voortgekomen.

1.a Idealiseren en abstraheren

Het bijzondere van de numeriek-geometrische vormen van orde is, dat deze herkenbaar zijn in verschijnselen die in materieel opzicht volkomen verschillend zijn. Men kan bijvoorbeeld de cirkelvorm herkennen in de banen van sterren rond de poolster, of in de baan die de zon overdag langs de hemel aflegt, maar ook in de omtrek van een boomstam en in de jaarringen daarbinnen. Dit bracht de Grieken ertoe om in gedachten en in woorden deze vormen los te maken (*te abstraheren*) van hun materiële realisatie, en als op zichzelf staande vormen te beschouwen en te analyseren. Ter wille van dit losmaken gebruikten de Grieken een benadering die we nog steeds aanduiden als '*idealiseren*'. Een kenmerk van een materiële vorm wordt geïsoleerd, en gezuiverd van alle individuele bijzonderheid, zodat een begrip wordt gevormd van een generieke vorm, waarvan een con-

crete materiële vorm een bijzondere en onzuivere casus is. De basisdefinities van de meetkunde van Euclides illustreren dit duidelijk: een ideaal-, of zuiver punt is een entiteit die als eigenschap wel een plaats heeft in de ruimte, maar *geen* afmetingen. Een ideale of zuivere lijn is een oneindige verzameling van dergelijke punten, die maar één afmeting heeft, namelijk lengte. Een geïdealiseerde, of zuivere lijn heeft geen breedte. Het verschil is duidelijk: een werkelijk materieel punt (bijv. een stip in het zand of een potloodstip op papier) heeft altijd wel degelijk afmetingen (anders zou je hem niet eens kunnen zien), en een werkelijke lijn in het zand of op het papier heeft altijd wel een breedte, maar bij de 'zuivere vormen', als vormen van orde die we los van de materie kunnen beschouwen¹. Het grote voordeel van deze benadering was, dat de kennis die van deze zuivere vormen werd opgebouwd toepasbaar was op het enorme gebied van alle verschillende materiële realiseringen van de numeriek-geometrische vormen van orde. Deze kennis was zowel toepasbaar op astronomische verschijnselen, als op tal van aardse natuurlijke fenomenen, als op het ontwerp van gebouwen en schepen, et cetera, et cetera.

Een omstandigheid die hierbij beslist een rol gespeeld heeft is het gegeven dat bewegingen van hemellichamen de zuivere vormen zó dicht benaderen dat de Grieken (en andere oude culturen) daar de afwijkingen van het ideaal niet konden waarnemen. Zo kon de gedachte ontstaan dat de hemelse sfeer niet uit gewone aardse materie was samengesteld, maar uit een hemelse materie, en dat men daar de ideale vormen in hun zuiverheid kon aanschouwen.

1.b Modelvorming

Het abstraheren van zuivere vormen tot zaken die los van hun materiële realiseringen beschreven en geanalyseerd konden worden ging samen met het ontwikkelen van een formele taal. Die taal stelde de oude Grieken al in staat om over deze zuivere vormen gevolgtrekkingen te maken. Dat wil zeggen: deze taal, de taal van de wiskunde, belichaamt een *logische gevolglichheid* die overeenstemt met *gevolglichheid in materiële systemen*² voor zover deze de zuivere mathematische vormen voldoende dicht benaderen. Deze overeenstemming maakt het mogelijk om *volgens de interne logische regels* van wiskundige taal formele kenmerken te berekenen of te bewijzen, en er dan zeker van te zijn dat deze formele kenmerken precies kloppen met de corresponderende materiële kenmerken van materiële realisaties. Aan Rosen ontleen ik nu een schema (a.w., p. 60)³, aan de

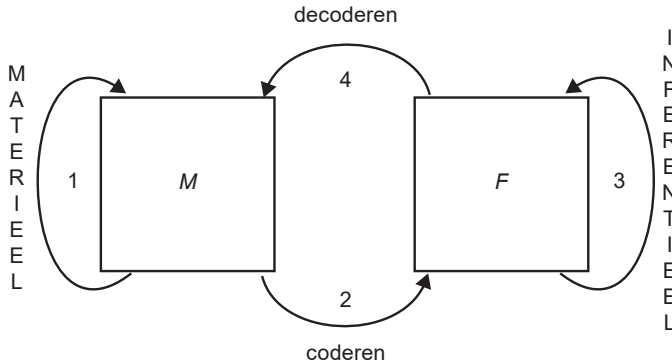
¹ Rosen gebruikt in *Life Itself* een fraaie uitdrukking voor het proces van idealiseren en abstraheren: "*throw away the matter and keep the underlying organisation*" (Rosen, 1991, p. 119).

² 'Systeem' betekent in dit verband niet meer dan een 'geheel' dat door een onderzoeker tot voorwerp van aandacht en bespreking wordt genomen.

³ Vanaf deze plaats verwijst ik in dit hoofdstuk naar Rosens *Life Itself* (1991) door middel van (a.w., p. xx).

hand waarvan de relatie tussen een materieel systeem en een formeel systeem verder toegelicht kan worden.

Figuur 1



Toelichting:

- M is een materieel systeem, bijvoorbeeld de dwarsdoorsnede van een doorgezaagde boomstam.
- F is een taal over zuivere vormen, bijvoorbeeld de euclidische meetkunde.
- Coderen (pijl 2) is het ver-talen van kenmerken van M in de termen van F . Ik schrijf ver-talen omdat M geen talig karakter heeft en F wel. In ons voorbeeld is F een taal waarin sprake is van afmetingen. Dit brengt met zich mee dat het 'coderen' een procedure impliceert volgens welke afmetingen bepaald kunnen worden, zodanig dat er een getal aan toegekend kan worden als input voor redeneringen of berekeningen in F . Bijvoorbeeld: we coderen de vorm van de boomstam en zijn jaarringen als cirkels en van zo'n cirkel kunnen we de 'dikte' opmeten en binnen F coderen als de lengte van de diameter van de cirkel.
- Pijl 3 geeft aan dat we nu binnen F een redenering of berekening kunnen uitvoeren, puur op grond van de *formele* kenmerken van een cirkel, zonder te hoeven weten hoe die cirkel gematerialiseerd is, die het mogelijk maakt om uit de diameter van een zuivere cirkel af te leiden hoe lang de omtrek, en hoe groot de oppervlakte van die zuivere cirkel zal moeten zijn.
- Decoderen (pijl 4) is het toepassen van de formele conclusies op het materiele systeem. Bijvoorbeeld: wanneer de boom een diameter heeft van 1 meter, dan zal ik concluderen dat een touw van 3 meter lang net niet om die boom zal passen.
- Pijl 1 geeft aan dat we ook binnen M over procedures beschikken (direct meten) om zonder tussenkomst van F vast te stellen hoe lang de omtrek en hoe groot de oppervlakte van een materiële cirkel is.
- Wanneer de uitkomst van $2+3+4$ steeds gelijk is aan 1, dan noemen we F een model van M . Wanneer we een model, waar we niet helemaal zeker van zijn, willen toetsen

dan testen we voor een aantal gevallen of de pijlen 2+3+4 tot uitkomsten leiden die overeenkomen met uitkomsten van pijl 1.

In navolging van Rosen (a.w., p. 61) kunnen uit het bovenstaande twee conclusies afgeleid worden:

1. Er zijn twee verschillende *soorten* van gevolglichheid met elkaar in verband gebracht:
 - + Aan de ene kant de *materieel-praktische gevolglichheid* die inhoudt, dat een touw van 3 meter lang altijd te kort is om een rond voorwerp met een diameter van 1 meter te omspannen.
 - + Aan de andere kant de *formele gevolglichheid*, die betrekking heeft op een concept dat deel uitmaakt van een taal. De gevolglichheid die ons doet zeggen: we weten dat er een vaste verhouding is tussen de diameter en omtrek van een cirkel, en dat de waarde van die verhouding, afgerond op twee decimalen, gelijk is aan 3,14. We noemen dit verhoudingsgetal ook wel π (als afkorting van het Griekse woord 'perifereia'⁴). Op grond daarvan kan voor ieder voorwerp dat de cirkelvorm voldoende nauwkeurig benadert de omtrek uit de diameter berekend worden, of de diameter uit de omtrek, volgens de formule $o = \pi \times d$.
2. De overeenstemming tussen deze twee gevolglichheden levert de ervaring op van een specifieke verdieping van *inzicht of kennis*. De praktische kennis, op grond waarvan ik weet dat ronde voorwerpen met een diameter van 1 meter niet omspannen kunnen worden door een koord van 3 meter, wordt een bijzondere instantie van een veel algemenere kennis, niet van materiële vormen zoals pilaren of bomen, maar van een abstracte zuivere vorm, de cirkel, die onafhankelijk van zijn grootte gekenmerkt wordt door $o = \pi \times d$. Deze en dergelijke kennis van 'zuivere vormen' wekte van oudsher verwondering en bewondering: hoe is het mogelijk dat wij mensen in zoveel verschijnselen universele niet-materiële vormen kunnen herkennen, en op grond daarvan algemeen geldige kennis kunnen ontwikkelen?

2 HISTORISCHE GEVOLGEN

Uit bewondering kenden de oude Grieken aan deze 'zuivere vormen' een hoge status toe. Deze niet-materiële vormen waren bovendien 'tijdloos' en 'universeel', wat zij interpreterden als 'onvergankelijk' en behorend tot een 'hogere' of 'goddelijke' sfeer. Denk aan de gelijkenis van de grot⁵: de filosoof die zijn leven op ware kennis wil richten, die richt zich op de universele en eeuwige 'ideeën'. Die gaat niet op zijn gewone lichamelijke zintuigen af, maar gebruikt zijn 'geestesoog'. Denk ook aan het 'vroedvrouw-idee' van

⁴ Dat 'omtrek' betekent (Concise Oxford English Dictionary).

⁵ Te vinden in *Politeia*, VII 514A-520A (Plato, 2000, pp. 273-280).

leraarschap: de ziel van een mens verblijft voor zijn geboorte in het geestelijke rijk van de Ideeën (= zuivere vormen) en heeft hen daar al leren kennen. Een leraar hoeft die reeds aanwezige onbewuste kennis bij de leerling alleen maar opnieuw geboren te laten worden, om haar opnieuw bewust te maken⁶.

De wetenschappen van de 'zuivere vormen' (wiskunde en filosofie) namen een hoge vlucht. Eeuwenlang werd het als een deugd van deze wetenschappen beschouwd dat zij in hoge mate beoefend konden worden zonder op materiële realisaties te letten, en zonder dat zij op nuttige toepassingen gericht waren (E. J. Dijksterhuis, 1975, pp. 13-18).

De keerzijde daarvan was de platonische minachting van het materiële en van het zintuiglijk waarneembare. Het unieke, tijdgebundene, en individuele werd letterlijk minderwaardig geacht ten opzichte van het universele en tijdloze. De rede van Socrates over de liefde illustreert dit duidelijk: het liefhebben van een ander mens is uiteindelijk gericht op de universele en tijdloze Vormen waar de unieke lichamelijke en sterfelijke mens slechts een onvolmaakte afschaduw van is⁷.

De filosofie van Aristoteles impliceerde daarna een zekere terugkeer van waardering en aandacht voor het materiële. Niet elke materie kan elke vorm realiseren, een hoopje zand kan geen eikenboom worden, maar een eikel wel. Daarom is het van belang om goed te kijken welke vormen een materieel ding al heeft, om te kunnen begrijpen welke vormen er wel of niet uit kunnen ontstaan (E. J. Dijksterhuis, 1975, p. 21).

2.a Axiomatisering

Verreweg de meeste aandacht en waardering bleef in de Griekse oudheid echter uitgaan naar de universele, los van materie bestudeerbare, vormen. Zodoende maakte de wiskunde in die tijd een intensieve ontwikkeling door, en werd er door de geleerden een grote hoeveelheid wiskundige kennis ontwikkeld. Vanwege deze hoeveelheid ontstond de behoefte om via systematisering het gehele kennisbestand beter te kunnen beheren, en om het op een overzichtelijke manier door te kunnen geven aan toekomstige generaties. De bekendste systematiseerder was Euklides, die rond 300 v.C. in Alexandrië leefde, en die de hele toenmalige meetkunde op systematische wijze in 13 boeken samenvatte onder de titel 'Elementen' (Struik, 2008, pp. 63-67). De methode die Euklides voor zijn systematisering gebruikte heet de *axiomatische* methode. Een methode, die dermate adequaat bleek te zijn, dat zij door wiskundigen tot in de 21^e eeuw nog steeds gehanteerd wordt!

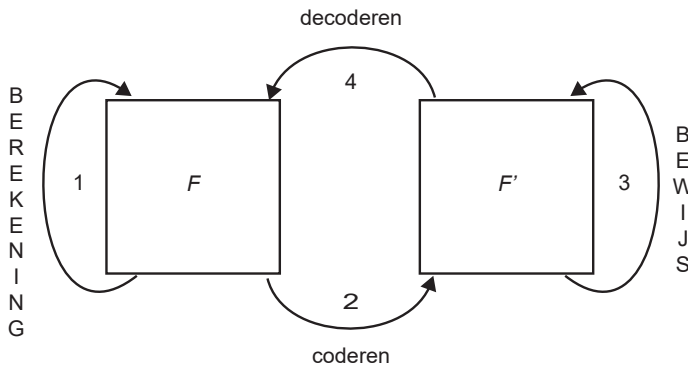
Maar, om deze axiomatische methode verder toe te kunnen lichten, moet eerst duidelijk gemaakt worden dat de meetkunde ondertussen door de geleerden op een hoger niveau van abstractie bedreven werd dan in de figuur op pagina 113 is weergege-

⁶ Zie *Menon*, 81A-87A (Plato, 2003, pp. 97-110).

⁷ Zie *Symposion*, 198A-212C (Plato, 1997, pp. 100-120).

ven. Ter toelichting sluit ik weer aan bij het voorbeeld van de cirkelvorm en haar eigenschappen. Wanneer men het omrekenen van omtrek naar diameter en vice versa eenmaal heeft geformaliseerd als $o=\pi\times d$ kan de vraag opkomen: hoe komt het dat de cirkelvorm, die gedefinieerd is door het kenmerk dat alle punten van de cirkel zich op een vaste afstand van een vast punt bevinden, ook dit kenmerk heeft van een vaste verhouding tussen omtrek en diameter volgens $o=\pi\times d$, zodanig dat dit laatste kenmerk geldt voor *alle* cirkels, ongeacht hun grootte? Of: kan men een redenering bedenken, die begint bij de definitie van de cirkel, en die uit die definitie kan afleiden dat het volkomen logisch en begrijpelijk is dat de formule $o=\pi\times d$ voor alle cirkels moet gelden? Een dergelijke redenering heet een *bewijs* en speelt zich af op een hoger niveau van abstractie dan een berekening. Het bewijs, dat een redenering betreft *over* berekenbare eigenschappen van cirkels, wordt geformuleerd in een talig model F' waarin redeneringen *over* algemene eigenschappen van cirkels (en andere meetkundige vormen), en *over* onderlinge relaties tussen die eigenschappen geformuleerd kunnen worden.

Figuur 2



- Op dit niveau van modelvorming betekent het coderen in ons voorbeeld (pijl 2) dat de definitie van de cirkel wordt vertaald naar het model F' . In dit geval is er wel letterlijk sprake van vertalen, omdat ook F al een talig karakter heeft.
- Pijl 3 stelt nu de formele redenering voor, via welke in enkele stappen uit de definitie van de cirkel wordt afgeleid dat de verhouding tussen omtrek en diameter voor alle cirkels logisch noodzakelijk een vaste verhouding moet zijn.
- Het decoderen (pijl 4) stelt nu het terug-vertalen voor, van de conclusie van de bewijsvoering naar een algemeen geldige rekenwijze.
- Pijl 1 stelt de al langer, in de praktische meetkunde bestaande kennis voor, van de manier waarop omtrek en diameter van een cirkel in elkaar omgerekend kunnen worden.
- Ook op dit niveau brengt het onderscheid tussen origineel en model met zich mee dat toetsing een rol kan spelen. Een voorbeeld uit de rekenkunde (F) kan hier als illustratie dienen. In 1742 formuleerde Goldbach de bewering dat ieder even getal

geschreven kan worden als de som van twee priemgetallen (Struik, 2008, p. 258). Ondanks de eenvoud van deze bewering bleek tot nu toe niemand in staat om hem te bewijzen (in F). Daarom wordt deze bewering nog steeds aangeduid als het vermoeden van Goldbach. Terwijl de algemeenheid van deze bewering (*ieder even getal*) het vinden van een bewijs zeer bemoeilijkt, maakt diezelfde algemeenheid het bewijs van haar onjuistheid in principe eenvoudig. Er hoeft maar één tegenvoorbeeld gevonden te worden, om dit vermoeden via een toets te falsifiëren. Om deze toets uit te voeren heeft men computerprogramma's geschreven die enorme aantallen even getallen nagaan, om te zoeken naar een even getal dat *niet* als som van twee priemgetallen geschreven kan worden. Maar, ondanks de rekenkracht van moderne computers is een dergelijk tegenvoorbeeld niet gevonden. Deze toetsen maken het steeds waarschijnlijker dat dit vermoeden juist is, en betekenen daarom dat de uitdaging blijft staan om een positief bewijs voor dit vermoeden te vinden (Singh, 1997, p. 309).

Wat men sindsdien onder 'wiskunde' en onder haar deeldisciplines zoals 'meetkunde', 'algebra' of 'getaltheorie' verstaat, bevindt zich niet meer op het niveau van praktische 'meetkunde' of 'rekenkunde' (F), maar op het hogere abstractieniveau van modelvorming (F'), waarop men kennis ontwikkelt van geometrische vormen of van getalsoorten en rekensystemen als-zodanig, onafhankelijk van hun concrete realiseringen. Er is nog wel een relatie tussen F' en concrete systemen, maar die loopt via F en is dus indirect.

De axiomatische methode, zoals Euclides die al hanteerde, hield in dat de modeltaal F' systematisch werd opgebouwd door in de eerste plaats uit te gaan van enkele elementaire begrippen en definities, in de tweede plaats van een zo klein mogelijk aantal elementaire stellingen die zonder bewijs als uitgangspunt aangenomen moesten worden (de axioma's), en tenslotte van afleidingsregels die algemeen als onweersprekelijk logisch erkend werden. Euclides slaagde er zodoende in om alle in zijn tijd bekende stellingen, met hun bewijzen, op dit fundament te baseren, en om zodoende de gehele bestaande meetkunde als een logisch samenhangende eenheid op te bouwen. Dit bouwwerk was dermate overtuigend dat de verwachting gewekt werd dat ook alle in de toekomst te ontdekken meetkundige kennis in dit bouwwerk geïntegreerd zou kunnen worden, en dat het oorspronkelijke fundament dit gebouw tot in de verre toekomst zou kunnen blijven dragen.

Vanwege het succes van deze methode ging zij gelden als norm voor wetenschappelijkheid⁸. De axiomatisering van andere wiskundige disciplines, zoals algebra en getal-

⁸ Onder andere binnen de fysica, waar men vanaf de oudheid (onder andere bij Archimedes) voorbeelden kan tegenkomen van axiomatisch-systematische opbouw van een deelgebied (Nagel & Newman, 2001, p. 3).

theorie, bleek echter veel moeilijker dan die van de meetkunde, en het duurde tot het begin van de 20^e eeuw voordat wiskundigen op dat gebied succes begonnen te boeken⁹.

2.b Wereldbeeld

De vele mogelijkheden die de Grieken al ontdekten, om van deze universele vormen, los van materie, eigenschappen en samenhangen logisch te kunnen beredeneren, leverden voortdurend fascinerende ervaringen op van verdere verdieping van *kennis* en *inzicht*. En, van diepe verwondering over het feit dat zoveel samenhangen die wij ons kunnen denken, en die ons aanspreken vanwege hun logica, ook werkelijk blijken te kloppen met de 'ware aard' van deze universele vormen, en daardoor dus ook met kenmerken en samenhangen van materiële verschijnselen voor zover die deze vormen benaderen.

Deze verwondering en bewondering leidde in de klassieke oudheid ertoe dat denkers zoals Pythagoras en Plato wiskundige structuren beschouwden als *essenties* van de werkelijkheid. Deze overtuiging werd later, vanaf de 16e eeuw, door vele onderzoekers zonder meer in een christelijke levensbeschouwing geïncorporeerd (E. J. Dijksterhuis, 1975, p. 336). Dit 'essentialisme'¹⁰ kreeg in de christelijke context de vorm van het geloof dat de Schepper van de kosmos bij zijn scheppingswerk als een wiskundige tewerk is gegaan, en dat wiskundigen en mathematische fysici de oorspronkelijke gedachten van de 'Grote Wiskundige' letterlijk na-denken. Tot in de huidige tijd kan men aanhangers van dit geloof en dit godsbeeld tegenkomen. Een mooi voorbeeld daarvan gaf de Nederlandse fysicus (en Nobelprijs winnaar) Gerard 't Hooft in een TV-interview¹¹, naar aanleiding van het verschijnen van zijn boek met de titel *De bouwstenen van de schepping*. Toen hem gevraagd werd waarom hij, als atheïst, toch het woord 'schepping' in de titel van zijn boek had gebruikt, legde hij uit dat hij die term had gekozen als eerbetoon aan zijn leraar natuurkunde in het voortgezet onderwijs. Die leraar was zeer 'gelovig' en stelde tijdens zijn lessen natuurkunde regelmatig de retorische vraag " *Zou de Schepper dit zó bedoeld hebben?*" Deze leraar stond in de 20^e eeuw nog steeds in de oude Grieks-Christelijke traditie, volgens welke God gezien wordt als Grote Mathematicus. Het heeft er overigens alle schijn van dat 't Hooft zelf in zijn boek weer uitkomt bij het oude Griekse essentialisme. Bijvoorbeeld wanneer hij schrijft " *Eén ding werd wel heel duidelijk: we wonen in een wereld die heel nauw luistert naar de wetten van de wiskunde. Die wiskunde is moeilijk maar kan helemaal begrepen worden*" (2014, p. 149). Naar mijn interpretatie

⁹ Na een aantal mislukte pogingen rond de wisseling van de 19^e naar de 20^e eeuw, bood het axiomatische systeem dat Russell en Whitehead publiceerden in hun *Principia Mathematica* (1910-1913) de eerste systematisch-logische fundering van algebra en rekenkunde die niet na korte tijd vastliep in contradicties (Singh, 1997, pp. 147-156).

¹⁰ Met de naam 'essentialisme' werd deze overtuiging in de 20e eeuw aangeduid, bijvoorbeeld door Popper (2002, pp. 134-139).

¹¹ Zie http://www.npo.nl/buitenhof/05-01-2014/VPWON_1210417

spreekt uit het boek van 't Hooft een eigentijdse gesecculariseerde vorm van dit oude essentialisme.

In verband met mijn onderzoek is het een interessant fenomeen, dat de verwondering en bewondering die het beoefenen van de wiskundige discipline kan oproepen, invloed kan uitoefenen op het globale wereldbeeld van een persoon. Wanneer iemand ertoe komt om wiskundige structuren te beschouwen als (deel van) *de* essenties van *de* wereld, of dat nu is in de Griekse oudheid of in de 21e eeuw, dan is een overtuiging, die ontstaan is door het functioneren in een cultureel deelgebied, voor die persoon een algemeen geldige overtuiging geworden, die hij als 'bagage' meeneemt naar alle levensgebieden. Kortom: het is een *identiteitskenmerk* geworden. Een 'pedagogische' leraar wiskunde zal zich de vraag stellen of hij de ontwikkeling van dit identiteitskenmerk 'essentialisme', als opbrengst van 'wiskundige vorming', wil bevorderen, of juist niet¹².

¹² Er is zeker aanleiding om het essentialisme kritisch te beschouwen. Een eerste aanleiding is te vinden bij Popper, die de term essentialisme introduceerde om er een interpretatie van wetenschap mee te karakteriseren die hij zelf afwees (2002, pp. 134-139). Daarnaast zal in deel III op een aantal plaatsen in kritische zin teruggekomen worden op het essentialisme (hoofdstuk 13, § 2.e / *Kritiek op essentialisme*; hoofdstuk 15, § 5.b / *Van hoogmoedig naar bescheiden mensbeeld*; hoofdstuk 16, § 1.j / *Interacties met mens- en wereldbeelden*).

HOOFDSTUK 5

Formele wiskunde

In het eerste deel van dit hoofdstuk (§§ 1 t/m 3) zal beschreven worden hoe wiskunde zich ontwikkelde tot een wetenschap van formele structuren, onafhankelijk van de vraag of die structuren ook ergens in de waarneembare werkelijkheid te vinden zijn. Door die ontwikkeling nam een nieuwe oriëntatie op juistheid de plaats in van de oude oriëntatie op waarheid. De beschrijving van deze ontwikkeling zal duidelijk maken dat het opheffen van de beperking tot 'waarheid', enerzijds een verruiming van mogelijkheden voor de wiskunde betekende, maar anderzijds de wiskunde voor nieuwe opgaven stelde.

De eerste opgave behelsde het expliciet maken van alle gegevens en regels die eenduidig afgesproken moeten worden om het wiskundige spel te kunnen spelen, onafhankelijk van betekenissen die aan elementen van het spel gehecht kunnen worden. Het moeilijke proces van expliciteren van alles dat afgesproken moet worden om het 'zuiver wiskundige' spel te kunnen spelen heet *formaliseren*. Een deel van dit hoofdstuk zal daarom gewijd zijn aan de problemen die opgelost moesten worden om de opgave van het formaliseren tot een goed einde te brengen.

Vervolgens zal beschreven worden hoe de uiteindelijk geslaagde transitie naar formele wiskunde weer nieuwe problemen opriep (§ 4). Het verlies van houvast aan waarneembare werkelijkheid vereiste het vinden van nieuw houvast aan *consistentie* en *volledigheid*. In deze twee begrippen werden de belangrijkste vereisten benoemd waaraan een zuiver wiskundig systeem moet voldoen. Wiskundigen gingen aan het werk om te onderzoeken hoe men zeker zou kunnen weten, door bewijsvoering, dat een wiskundig systeem aan de eisen van consistentie en volledigheid voldoet. Daarbij bleek dat het bewijzen van de consistentie van vele systemen uiteindelijk moest steunen op het bewijs van de consistentie van geformaliseerde rekenkunde (aritmetica).

Dit zoekproces culmineerde in het werk van Kurt Gödel (§ 5), die *beweest* dat zelfs het betrekkelijk eenvoudige systeem van de rekenkunde, niet aan beide eisen kan voldoen. Indien rekenkunde (of een vergelijkbaar systeem) consistent is, dan is het zeker niet volledig; en indien het consistent is dan kan die consistentie niet (volgens de regels van het systeem) bewezen worden.

Tenslotte zal ingegaan worden op de consequenties van dit door Gödel bereikte resultaat. Deze consequenties impliceren beperkingen van de zekerheid van formele wiskunde, erkenning van onderling onherleidbare modi van gevolgbijheid binnen de wiskunde, en erkenning van onderling onherleidbare gradaties van complexiteit tussen wiskundige systemen onderling.

1 IN ABSTRACTO SPELEN MET FORMELE ALTERNATIEVEN

Een belangrijke ontwikkeling, die hier vooraf genoemd moet worden, is de verbinding die in 17^e eeuw geconstrueerd werd tussen meetkunde en algebra. Eén van de belangrijkste bijdragen aan die ontwikkeling gaf de publicatie van *Géométrie* in 1637 door René Descartes¹³. In deze publicatie gaf hij aan hoe meetkunde vertaald kon worden in algebra. Zijn aanzet werd door navolgers verder uitgewerkt tot wat tegenwoordig *analytische meetkunde* heet (Struik, 2008, pp. 134-136). Nog steeds kent ieder, die dit vak op school gevolgd heeft, de 'cartesiaanse methode' om een rechthoekig (orthogonaal) coördinaten systeem in te voeren, met een x -as en een y -as, en in de ruimte ook nog een z -as. Zodoende kan ieder punt in een plat vlak voorgesteld worden als een getallenpaar (x,y) en ieder punt in de ruimte als een getalendrietal (x,y,z) . Een rechte lijn in een plat vlak komt dan exact overeen met een lineaire vergelijking van de vorm $ax+by=c$, en zo voorts. Dankzij deze ontwikkeling konden van die tijd af aan meetkunde en algebra elkaar ondersteunen en bevruchten. Moeilijke meetkundige problemen konden voortaan ook met algebraïsche methoden worden aangepakt, en omgekeerd. Wiskunde vormde zodoende een sterkere eenheid dan voor die tijd. Een aspect waaraan in die tijd echter nog niet werd getornd, was de opvatting van wiskunde als een 'ware wetenschap' van ruimtelijke en getalsmatige vormen en structuren, zoals die in werkelijkheid bestaan.

In de 19^e eeuw veranderde deze situatie echter. Wiskundigen begonnen in abstracto te experimenteren met alternatieve systemen. De vraag, of er in de werkelijkheid iets te vinden zou zijn dat met die alternatieve systemen zou corresponderen, werd daarbij genegeerd.

De hiervoor genoemde 17^e-eeuwse analytische meetkunde, ging bijvoorbeeld uit van een rechthoekig assenstelsel, en van een maateenheid die op iedere as dezelfde is. Het vertalen van deze meetkunde naar algebra, riep de vraag op, of het voor een dergelijke meetkunde wel nodig is dat de coördinaten-assen onderling hoeken van 90° maken, en of het wel nodig is dat de maateenheid op iedere as dezelfde is. Bij het uitwerken van dit idee bleek, dat deze uitgangpunten van het cartesiaanse systeem ook heel goed losgelaten konden worden, en dat er dan evengoed een coherente meetkunde ontwikkeld kon worden¹⁴. De 'normale' euclidische meetkunde werd zodoende één bijzonder geval van een oneindig aantal mogelijkheden.

Een andere abstracte variatie, die later met de bovenstaande werd gecombineerd, knoopte ook aan bij de cartesiaanse analytische meetkunde. In de driedimensionale euclidische ruimte wordt een punt voorgesteld door een getallen-drietal (x,y,z) . Deze

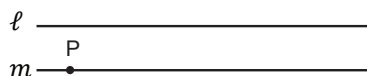
¹³ Als één van de appendices bij zijn *Discours de la Méthode*.

¹⁴ Een dergelijke meetkunde wordt projectieve meetkunde genoemd. Een publicatie door Poncelet in 1822 markeerde het begin van deze meetkunde als een zelfstandige tak van wiskunde (Struik, 2008, p. 220).

voorstellingswijze kan de vraag oproepen, of we niet net zo goed zouden kunnen uitgaan van viertallen (x_1, x_2, x_3, x_4) , van vijftallen, of algemeen gesteld van n -tallen (x_1, x_2, \dots, x_n) , en of we dan niet net zo goed meerdimensionale meetkonden zouden kunnen ontwikkelen als de oorspronkelijke driedimensionale. Ook dit idee bleek uitvoerbaar, en leidde tot het abstracte concept van meerdimensionale 'ruimten'¹⁵. Ook deze generalisatie leidde tot de positionering van de euclidische meetkunde als één bijzonder geval binnen een oneindig aantal mogelijkheden.

Een derde spel met variaties, dat in de 19^e eeuw tot ontwikkeling kwam, knoopte direct aan bij de axioma's van Euklides. Het vijfde axioma van Euclides houdt in, dat men door een punt P buiten een rechte lijn ℓ slechts één nieuwe lijn m kan trekken die de eerste lijn nooit snijdt (een evenwijdige lijn). In de 19^e eeuw begonnen wiskundigen zich de vraag te stellen of men op dit axioma zou kunnen variëren, door aan te nemen dat er door het punt P buiten ℓ oneindig veel evenwijdige lijnen m getrokken kunnen worden, of door aan te nemen dat er door P geen enkele lijn m getrokken kan worden die evenwijdig is aan ℓ . Het is duidelijk, dat voor onze 'normale' ruimte deze alternatieven onwaar zijn, maar men zag daarin geen belemmering voor onderzoek naar de formele mogelijkheden om alternatieve axiomatische systemen op te bouwen, die gebaseerd waren op bovenstaande variaties op het vijfde axioma van Euklides. Ook deze alternatieve meetkonden bleken levensvatbaar, in de zin dat men in staat bleek om op basis van alternatieven voor het vijfde axioma stellingen af te leiden en meetkundige systemen op te bouwen, die voornamelijk geen schipbreuk leden op tegenstrijdigheden¹⁶.

Figuur 3



Tenslotte kon men ook combinaties construeren en onderzoeken van alle drie de bovengenoemde soorten van variaties. Het werkgebied van de tak van wiskunde, die traditioneel meetkunde heet, werd zodoende enorm uitgebreid. Riemann was de eerste vooraanstaande wiskundige die het belang van deze uitbreidingen inzag, en die daar in

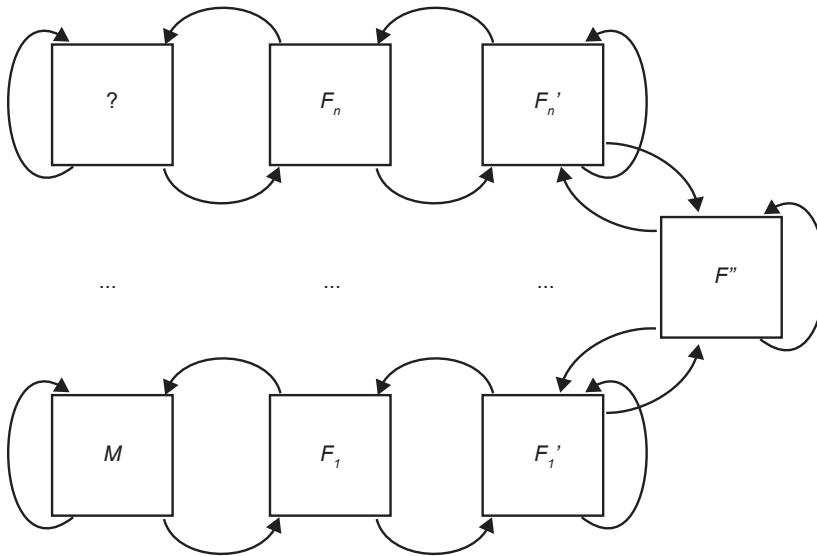
¹⁵ De eerste systematische uiteenzetting van meerdimensionale meetkonden wordt toegeschreven aan Grassman, die daarover in 1844 zijn *Ausdehnungslehre* publiceerde (Struik, 2008, p. 228). Bij een dergelijke meetkunde wordt principieel in het midden gelaten wat in deze context onder 'ruimte' verstaan kan worden. De interpretatie, dat een dergelijke tak van wiskunde handelt over getalengroepen en over vergelijkingen met meerdere onbekenden, heeft immers net zoveel recht als de interpretatie dat een dergelijke wiskunde over concepten van ruimtelijkheid handelt.

¹⁶ Met het onderzoek naar deze alternatieven zijn de namen verbonden van Gauss, Lobatsjevski, Bolyai en Riemann (Struik, 2008, pp. 226-228).

1854 blijkt van gaf in een verhandeling *Ueber die Hypothesen, welche der Geometrie zu Grunde liegen* (Struik, 2008, p. 215 & 228).

De ontstane situatie kan in onderstaande figuur 4 weergegeven worden. F_1 stelt daarin de praktische meetkunde voor, die bestaat uit voorschriften voor berekeningen, die toegepast kunnen worden op materiële systemen M . F_1' stelt het axiomatische systeem van Euklides voor, waarin stellingen over generieke eigenschappen van geometrische vormen geformuleerd en bewezen kunnen worden. F'' stelt een meta-meetkundige redenering voor (zoals die van Riemann) waarin op logische wijze beredeneerd wordt welke kenmerken van axiomatisch opgebouwde meetkundige systemen vatbaar zijn voor variatie. De stippeltjes tussen de blokken geven de vele varianten van meetkundige systemen aan die zodoende geconstrueerd kunnen worden. In de bovenste regel van de figuur stelt F_n' een n^e variant van de aldus geconstrueerde meetkunden voor. Het vraagteken linksboven stelt een vraag voor, die wiskundigen bij het ontwikkelen van dergelijke systemen juist negeren, namelijk: kan er een materieel systeem gevonden worden, waarop berekeningen F_n die uit meetkunde F_n' volgen, van toepassing zijn?

Figuur 4



De geschiedenis heeft laten zien dat deze vraag niet onzinnig is, omdat er soms een antwoord gevonden wordt. Een voorbeeld daarvan is de verrassende ontwikkeling die zich aan het begin van de 20^e eeuw voordeed toen Einstein zijn 'bijzondere relativiteits-

theorie' wilde uitbreiden tot een algemene theorie¹⁷. Voor die uitbreiding had hij een nieuwe meetkunde nodig, en het bleek dat hij voor zijn doel precies één van de alternatieve meetkonden kon gebruiken, die in de 19^e eeuw door de hierboven genoemde wiskundigen ontwikkeld waren (DiSalle, 2009; Struik, 2008, p. 215). Het bleek, dat een vorm van vierdimensionale meetkunde, die zonder enige verwijzing naar materiële werkelijkheid ontwikkeld was, als een zuiver abstract spel van het intellect, onvoorzien toch als exact model voor materiële systemen kon dienen!¹⁸ En, deze gebeurtenis was niet uniek. Ontdekkingen die gebaseerd waren op een vergelijkbare samenloop hadden zich eerder voorgedaan¹⁹, en hebben zich nadien opnieuw voorgedaan²⁰.

2 AXIOMATISERING VAN ALGEBRA EN GETALTHEORIE

De successen op meetkundig gebied, die gebaseerd waren op haar axiomatische opbouw, motiveerden in de loop van de 19^e eeuw een groot aantal wiskundigen en logici tot inspanningen, om ook meer helderheid te brengen in de grondslagen van algebra en getaltheorie²¹. Op deze gebieden moest men meer van het begin af aan beginnen, omdat

¹⁷ De bijzondere relativiteitstheorie voldoet aan de eis dat het voor fysische wetten, zoals die bepaald kunnen worden binnen verschillende referentiesystemen, geen verschil mag maken wanneer die referentiesystemen zich met constante snelheden ten opzichte van elkaar bewegen. Het voldoet aan de zwaardere eis, dat het voor fysische wetten ook geen verschil mag uitmaken wanneer referentiesystemen zich versneld ten opzicht van elkaar bewegen, is het uitgangspunt van de algemene relativiteitstheorie. Zie verder deel III, hoofdstuk 13, § 1.d.

¹⁸ Op grond van deze theorie voorspelde Einstein onder andere dat het licht van sterren, dat zich dicht langs de zon voortplant, door de invloed van de zonnemassa licht afgebogen wordt. De Engelse astrofysicus Eddington was de eerste die in 1919 empirisch vaststelde dat op dit punt het nieuwe model exact met waarnemingen overeenstemde (Vibert Douglas, 2013). Nadien is deze theorie door talloze andere waarnemingen, en ook op vele andere aspecten, alleen maar bevestigd (zie verder deel III, hoofdstuk 13, § 1.d / *Afschaffing van kracht op afstand*).

¹⁹ Het voorstel van Copernicus, om de planeetbewegingen te verklaren door aan te nemen dat de aarde om de zon draaide in plaats van andersom, is een oud voorbeeld hiervan. Ook dit voorstel berustte op zuiver mathematische exercities en discussies, die al sinds de klassieke oudheid gevoerd werden. Discussies over realiteitsaanspraken dienden – volgens opvattingen uit die tijd – uitgesteld te worden totdat de geleerden het over de mathematische houdbaarheid eens zouden zijn (E. J. Dijksterhuis, 1975, pp. 328-329).

²⁰ Bijvoorbeeld bij de ontwikkeling van de kwantummechanica (Wigner, 1960).

²¹ Deze twee disciplines vallen niet samen. Getaltheorie is een onderdeel van de 'abstracte' of generaliseerde algebra. De taal van de abstracte algebra is algemener, omdat zij expressies toelaat over een veel ruimer gebied van formele entiteiten, die ontstaan zijn uit een breed spectrum van formele variaties op getalsoorten.

daar traditioneel veel minder aandacht was besteed aan systematisch-axiomatische opbouw dan binnen de meetkunde²². Men moest dus uitvinden hoe algebra en getaltheorie van de grond af aan opgebouwd konden worden op het fundament van enkele elementaire concepten, een minimaal aantal axioma's, en een klein aantal eenduidig bepaalde afleidingsregels. Dit alles kostte veel denkwerk omdat bleek dat een groot deel van de logica van het omgaan met getallen, rekenkunde en algebra zó vanzelfsprekend was, ook voor wiskundigen, dat het moeilijk bleek om deze impliciete logica te expliciteren. Op het gebied van afleidingsregels bijvoorbeeld, was er na de syllogisme-logica van Aristoteles, geen nieuwe ontwikkeling meer geweest. Toen men echter in de 19^e eeuw preciezer ging onderzoeken welke logische principes een rol spelen in wiskundige bewijzen, toen bleek dat de aristotelische explicitering nog lang niet compleet was. Op dit gebied werd pas verdere voortgang geboekt door de ontwikkeling van de mathematische (of symbolische) logica door Boole (Nagel & Newman, 2001, pp. 37-41). Maar, ook op het gebied van fundamentele concepten moest men zich vragen stellen zoals: "wat is nu eigenlijk een getal, of een aantal, en waar berusten deze noties op?". Ook op dit gebied kon men pas in de 19^e eeuw verder komen, dankzij de ontwikkeling van de verzamelingenleer door Cantor (Struik, 2008, pp. 219-220). Over dit concept 'verzameling' kan men zeggen, dat na ruim 2000 jaar een fundamenteel element van het wiskundige denken expliciet werd gemaakt, dat al die tijd impliciet een centrale rol had vervuld (Rosen, 1991, p. 42).

De eerste pogingen om, op grond van de nieuwe mathematische logica en de verzamelingenleer van Cantor, ook getaltheorie en algebra van een axiomatisch fundament te voorzien werden echter geplaagd door tegenslagen. In het bijzonder moet hier Frege genoemd worden, die in 1893 een eerste deel publiceerde van zijn *Grundgesetze der Arithmetik*, en die, toen in juni 1902 zijn tweede deel al bij de drukker lag, een brief ontving waarin de jonge Russell hem beleefd, maar ook onweerlegbaar, wees op het feit dat zijn logische systeem op een fatale contradictie schipbreuk leed (Dummett, 2013; Singh, 1997, pp. 150-155)²³. Frege probeerde nog wel om de fout te herstellen, in de uitgave die in 1903 verscheen, maar na zijn dood toonde een Poolse logicus aan dat ook deze verbeterde versie nog steeds op een contradictie vastliep (Dummett, 2013).

Het waren uiteindelijk pas Russell en Whitehead, die in hun *Principia Mathematica* (1910-1913) met succes een axiomatisch systeem ontwikkelden dat als solide fundament kon dienen voor getaltheorie en algebra (Singh, 1997, p. 156; Struik, 2008, p. 236). In dit driedelige werk maakten zij bovendien duidelijk dat (en hoe) hun benadering gegeneraliseerd kon worden tot een fundering voor de wiskunde als geheel (Hintikka, 2013a).

²² Struik herleidt dit verschil tot een cultureel verschil tussen de Indisch-Arabische oorsprong van deze disciplines, en de Griekse oorsprong van de meetkunde (2008, p. 95).

²³ Deze contradictie is bekend en beroemd geworden als de paradox van Russell, en op tal van plaatsen beschreven. Zie bijvoorbeeld (Singh, 1997, p. 154).

Tenslotte moet hier opgemerkt worden dat het al eerder voor de meetkunde beschreven verschijnsel, van onvoorziene toepassingen van zuiver formeel bedachte varianten, ook op algebraïsch gebied niet ongewoon is. Als voorbeeld kan de 16^e-eeuwse ontwikkeling van 'imaginaire getallen' genoemd worden. In de 19^e eeuw bleek deze, in een abstract spel gefantaseerde, getalsoort precies van pas te komen in het succesvolle, door Maxwell ontwikkelde, model voor de uitbreiding van elektromagnetische golven in de ruimte (Struik, 2008, pp. 118 & 231-232).

3 FORMALISEREN

Wanneer men, door te variëren met axioma's of andere kenmerken, een vorm van wiskunde ontwikkelt waar men zich niets concreets meer bij voor kan stellen, dan verliest men het houvast dat men nog wel heeft wanneer wiskunde over voorstelbare zaken gaat. Wanneer men bijvoorbeeld weet dat wiskundige formuleringen betrekking hebben op 'punten', 'lijnen' en 'vlakken', of op 'getallen', dan bieden deze voorstellingen steun bij het beoordelen van de toelaatbaarheid van beweringen, en bij het beoordelen van de logische kwaliteit van een bewijsvoering. Maar, wanneer men zich niets meer kan voorstellen bij een wiskundige argumentatie, zelfs niet meer weet of het nog over een 'soort van ruimte' of over een 'soort van getallen' gaat, dan gaat het bovengenoemde houvast volkomen verloren. Om in een dergelijk geval beweringen en bewijzen nog te kunnen beoordelen, en om de mogelijkheden en consequenties van een dergelijk systeem te kunnen onderzoeken, moeten alle uitgangspunten en regels van het abstracte 'spel' volkomen expliciet geformuleerd zijn. Het ontwikkelen van een dergelijk volkomen expliciet geheel van uitgangspunten en regels wordt in de wiskunde aangeduid als '*formaliseren*' (Nagel & Newman, 2001, p. 25; Rosen, 1991, p. 45).

3.a Formaliseren als het expliciteren van spelregels

In de 19^e eeuw begon men dit formaliseren ook van belang te achten voor de oudere en 'aanschouwelijke' takken van wiskunde, die zich ontwikkeld hebben op basis van conventies en logica die –achteraf gezien– deels impliciet gebleven waren. Men problematiseerde bijvoorbeeld in de aritmetica het principe, dat bij twee natuurlijke getallen a en b één van de volgende drie mogelijkheden moet gelden: $a=b$, $a<b$, of $a>b$ ²⁴. Dit principe is in de aritmetica eeuwenlang impliciet als waar en vanzelfsprekend aangenomen, en bij vele bewijzen gebruikt. Men noemde dit principe nu de 'trichotomie wet' (MacDuffee, 2013) en men realiseerde zich dat de status van dit principe onduidelijk was. Was het een ware stelling? Zo ja, hoe zou die dan bewezen kunnen worden? Zo nee, moest dit principe dan als axioma aangenomen worden, of moest alle bewijzen die erop gebaseerd

²⁴ $a<b$ betekent: a is kleiner dan b ; $a>b$ betekent: a is groter dan b .

waren afgekeurd worden? Om deze vragen te kunnen oplossen was het nodig om de impliciete gedeelten van de aannames en de logica van aritmetica expliciet te maken. Pas toen men daarin slaagde kon duidelijk worden dat de 'trichotomie-wet' als een stelling beschouwd kon worden, en kon deze stelling ook bewezen worden (Enderton & Stoll, 2013; Singh, 1997, pp. 147-148). Formalisering werd zodoende ook een algemeen aanvaarde norm binnen de oude, traditionele takken van wiskunde. Deze formalisering betekent dat men in deze disciplines bij het redeneren geen gebruik meer mag maken van impliciete intuïties, zoals intuïties van 'wat een getal is' of van 'wat ruimtelijk wel en niet mogelijk is', maar alles moet baseren op een volkomen expliciet geheel van uitgangspunten en spelregels, dat in het geheel geen impliciete aannames, conventies, of ervaringskennis meer vooronderstelt of nodig heeft²⁵.

Een verhelderend voorbeeld van een geformaliseerd systeem buiten de wiskunde is het schaakspel. Ooit is dit spel ontstaan als een stilering van militaire strategie, maar tegenwoordig zijn de spelregels zo expliciet en compleet dat er geen enkele voorkennis van legers, ruiters, torens, koninginnen of koningen meer nodig is om het spel te kunnen spelen en begrijpen. Een consequentie daarvan is, dat men aan de stukken ook geheel andere namen zou kunnen geven, bijvoorbeeld van dieren of van bloemen, zonder dat dit op het spel ook maar enige invloed zou hebben. Dat het spel geformaliseerd is impliceert dat de operationele betekenissen van alle elementen van het spel (de stukken, de velden, de zetten, het slaan, winnen, verliezen of remise, ...) *via de interne regels van het spel al volkomen en eenduidig bepaald zijn*. Daarom kan men vrijelijk ook nog andere betekenissen aan deze elementen toekennen, zonder dat dit voor het spel zelf iets uitmaakt. Zo is het ook in een geformaliseerd wiskundig spel. Men kan, als 'ezelsbruggetje', aan bepaalde elementen nog wel vertrouwde namen toekennen zoals 'punt' of 'getal', maar dat kunnen net zo goed andere namen zijn, en op de manier waarop het wiskundige spel gespeeld wordt hebben dergelijke namen en hun spel-externe betekenissen -als het goed is- geen enkele invloed meer (Nagel & Newman, 2001, pp. 34-35).

Zoals schaakstukken het basiselement vormen van het schaakspel, zo vormen 'beweringen' het basiselement van een wiskundig betoog. Binnen een geformaliseerd systeem, zoals *Principia Mathematica*, worden deze beweringen aangeduid als '*formules*'. En, zoals 'zetten' de elementaire operaties zijn die het verloop van een schaakspel bepalen, zo zijn *transformaties van formules* de elementaire operaties die het verloop van een wiskundig betoog bepalen. Er kunnen nu vier soorten van afspraken onderscheiden worden, die gemaakt moeten worden om een wiskundig spel met *formules* volledig en eenduidig te kunnen bepalen (Nagel & Newman, 2001, pp. 45-50):

²⁵ Toen ik wiskunde studeerde was het een belangrijk aspect van de universitaire 'heropvoeding' dat de studenten het op school aangeleerde impliciete gebruik van dergelijke intuïties moesten afleren. Een cruciale zin in een meetkunde-studieboek luidde bijvoorbeeld: "*Therefore space-intuition can play no part in the deductions*" (Heyting, 1963, p. 3).

1. Er moet een volledige *lijst* afgesproken worden van de soorten tekens (of symbolen) die gebruikt kunnen worden.
2. Er moeten *formatieregels* afgesproken worden, die bepalen welke combinaties van tekens toegelaten zijn voor het vormen van formules.
3. Er moeten *transformatieregels* worden afgesproken, die eenduidig en volledig bepalen hoe nieuwe formules uit bestaande formules afgeleid kunnen worden.
4. Er moet afgesproken worden welke formules zullen gelden als *primitieve formules*, die aangenomen worden als onherleidbaar uitgangspunt voor alle afleidingen.

Wanneer deze afspraken goed gemaakt zijn, dan zijn de operationele betekenissen van tekens, formules, en configuraties van formules geheel bepaald door de interne regels. De tekens worden bijvoorbeeld onderscheiden in 'variabelen' en 'constanten' (en die worden weer onderverdeeld in sub-soorten), maar wat een specifieke 'variabele' of 'constante' binnen het spel betekent heeft geen andere inhoud dan de rol die er door de regels aan is toegekend, net zoals de betekenis van een 'loper' of een 'paard' geen andere inhoud heeft dan de rol die er door de schaakregels aan is toegekend. Een wiskundig spel, dat volgens dergelijke afspraken gereguleerd is, heet (in de terminologie van *Principia Mathematica*) een '*calculus*'. Een eenvoudig voorbeeld van een afleiding binnen een calculus kan er als volgt uitzien²⁶:

$$(p \supset q) \supset (\sim q \supset \sim p)$$

$$r = p$$

$$q = p \vee r$$

$$(r \supset (p \vee r)) \supset (\sim (p \vee r) \supset \sim r)$$

$$\sim (p \vee r) \supset \sim r$$

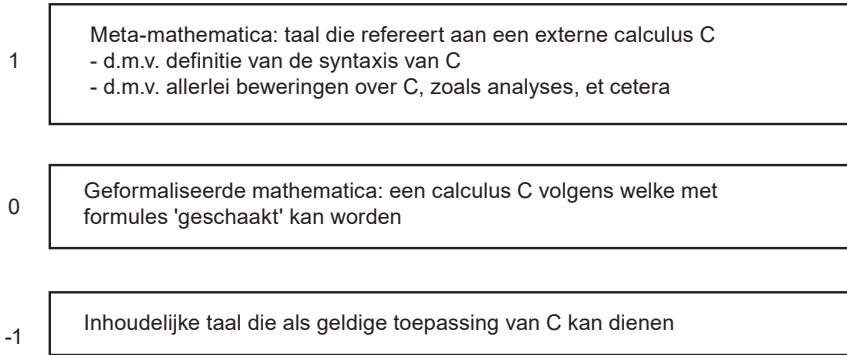
3.b Het onderscheiden van taalniveaus

Is een dergelijk abstract spel met symbolen nog wel een taal? Wat heeft het formaliseren nu precies gedaan met de traditionele wiskunde die nog wel het karakter van een inhoudelijke taal had? Voor een goed begrip van de implicaties van het formaliseren is het van belang om op deze vragen te reageren. Aan de hand van Nagel & Newman (2001) en Rosen (1991) zal ik nu op deze vragen ingaan.

In de eerste plaats is het van belang om te zien hoe een dergelijke calculus verbonden is met, en een positie inneemt tussen andere talen, die zich op verschillende niveaus bevinden. In het volgende schema is een calculus C, die het resultaat is van formaliseren, gelokaliseerd op niveau 0.

²⁶ Ontleend aan de vele voorbeelden uit (Nagel & Newman, 2001).

Figuur 5



Dit niveau vooronderstelt de 'bovenbouw' van een andere taal waarin de afspraken over de calculus (zie vorige pagina) geformuleerd zijn. Deze 'bovenbouw' wordt meta-mathematica genoemd (Nagel & Newman, 2001, pp. 27-36). Naast de afspraken die het wiskundige spel van C precies reguleren, kunnen in een meta-mathematica ook nog allerlei andere beweringen over onderdelen van C, of over C als geheel, geformuleerd worden. Bijvoorbeeld: "C is consistent", "formule ' $\sim(p\forall r)\supset\sim r$ ' is een bewijsbare stelling", of "' $0\neq 0$ ' is onjuist", et cetera.

Zoals eerder is uitgelegd, heeft het formaliseren als effect dat de symbolen en de formules van C geen C-externe betekenis nodig hebben. Maar, dit sluit de mogelijkheid van een externe betekenis ook niet uit. Zo was het bijvoorbeeld voor de auteurs van *Principia Mathematica* (PM) van belang dat zij een zuiver formele calculus konden ontwikkelen, waarin getaltheorie en aritmetica (rekenkunde) als externe betekenis ingevuld zouden kunnen worden²⁷. In het schema is een dergelijke minder formele taal, die als toepassing, of als inhoudelijke interpretatie van C kan gelden, geplaatst op niveau -1, als 'onderbouw' van C²⁸.

Eén van de belangrijkste en meest beschreven kenmerken van taal is het verwijzen, of refereren. Een taalelement, zoals een symbool of een woord, heeft immers pas betekenis dankzij zijn 'verwijzende' relaties met iets anders dan zichzelf. Dit 'andere dan zichzelf', ook wel 'referent' geheten, kan zowel een taalintern als een taalextern karakter hebben. De regels van een taal verwijzen bijvoorbeeld naar andere taal-interne elementen, omdat zij daarover uitspraken doen (bijvoorbeeld over spelling of zinsbouw). Daarnaast verwijzen vele taalelementen, zoals woorden of zinnen, naar materiële of immateriële

²⁷ Omdat de consistentie van deze tak van wiskunde een 'hoeksteen' bleek te zijn voor de consistentie van de wiskunde als geheel (zie pagina 140).

²⁸ Uiteraard sluit dit ook weer niet uit dat er, naast de calculus die aan deze speciale eis voldoet, ook allerlei andere calculi ontwikkeld worden die niet gericht zijn op een bij voorbaat bepaalde toepasbaarheid.

referenten die niet in de taal zelf te vinden zijn. In navolging van Rosen (1991, p. 43) zal ik in het vervolg alle aspecten van taal die betrekking hebben op interne verwijzingen en relaties '*syntactisch*' noemen, en alle taalaspecten die betrekking hebben op externe verwijzingen zal ik '*semantisch*' noemen²⁹. In het algemeen hebben talen zowel syntactische als semantische aspecten. Een formele calculus vormt hierop een uitzondering omdat deze het ook zonder semantische aspecten kan stellen.

Een ander opmerkelijk verschil met 'natuurlijke taal' houdt verband met het niveau van de meta-mathematica. Terwijl het in een natuurlijke taal, zoals het Nederlands, geen probleem vormt om de taalinterne regels (voor spelling, zinsbouw, et cetera) in de taal zelf te formuleren, blijkt dit voor een geformaliseerde calculus niet mogelijk te zijn. Om dit probleem op te lossen moet de syntaxis van C in een aparte taal, de meta-mathematica, geformuleerd worden. De (onder)scheiding in taalniveaus tussen mathematica en meta-mathematica blijkt nodig te zijn om de mathematica te kunnen formaliseren tot een calculus.

Om te begrijpen waarom dit nodig is, kan opnieuw de vergelijking met het schaakspel gebruikt worden. Wanneer men een dergelijk spel zuiver en eerlijk wil kunnen spelen, dan moeten er eenduidige en vaste regels opgesteld worden, zodat het spel zijn eigen verloop kan hebben zonder verstoord te worden door discussies of onderhandelingen over de regels. Aan deze condities wordt voldaan door in een andere taal dan de 'schaaktaal' de regels eenduidig af te spreken, en door de 'schaaktaal' zelf beperkt te laten tot alleen die uitdrukkingen die voor het schaken noodzakelijk zijn. Door die beperking ontbreekt het binnen de 'schaaktaal' niet alleen aan de mogelijkheid om met de regels te sjoemelen, maar ook aan elke mogelijkheid om het spel te bespreken of te analyseren. In de behoefte aan dit laatste voorziet een rijke 'schaakliteratuur' die in verschillende vormen van meta-taal geschreven is.

Zo is een calculus bedoeld om een specifieke soort van gevolglichheid zo zuiver mogelijk te kunnen bestuderen. Daartoe wordt een taal afgesproken waarin die specifieke gevolglichheid 'gevangen' wordt, en waarin de mogelijkheden tot 'taalhandelingen' beperkt zijn tot alleen die operaties die binnen de afgesproken en vastgelegde gevolglichheid toegestaan zijn. Zodoende worden ook de gebruikers van een calculus daarbinnen gevangen gezet. En, zodoende ontbreken ook binnen een calculus alle mogelijkheden om het spel te bespreken of te analyseren, en is daarvoor een meta-taal nodig.

Wanneer ik nu terugkeer naar de vraag die aan het begin van dit gedeelte staat, dan kan ik concluderen dat het formaliseren ertoe geleid heeft:

²⁹ Ik ben mij ervan bewust dat de adjectieven '*syntactisch*' en '*semantisch*' in de literatuur op allerlei verschillende manieren gedefinieerd worden, en dat dit in verband staat met diepgaande discussies over taal. In mijn studie sluit ik mij aan bij de betekenis die Rosen aan deze termen toekent, omdat ik mij zodoende ook beter bij andere terminologie van Rosen (en anderen) kan aansluiten.

- dat wiskundigen binnen hun vakgebied verschillende taalniveaus scherp zijn gaan onderscheiden³⁰,
- en dat wiskundigen zich er steeds meer op gingen toeleggen om de logische structuren van deductieve systemen in de vorm van axiomatisch opgebouwde calculi te expliciteren, en op meta-niveau tot voorwerp van studie te maken.

Deze ontwikkelingen leidden er echter ook toe dat wiskundigen nieuwe opvattingen ontwikkelden over de identiteit³¹ van hun discipline. Aan het begin van dit hoofdstuk heb ik geschetst hoe de wiskunde haar ontwikkeling begon bij interesse in het verdiepen van inzicht in geometrische en numerieke vormen van gevolglijkheid, met behulp van modellen. Wanneer het hierbij gebleven zou zijn, dan zou wiskunde het ontwikkelen van modellen gemeen hebben met andere takken van wetenschap, en dan zou het onderscheidende kenmerk gelegen zijn in het gebied waarop wiskunde kennis ontwikkelt door middel van modelvorming, namelijk numerieke en geometrische vormen van gevolglijkheid. Het was één van de consequenties van de ontwikkeling van de wiskunde in de 19^e en de 20^e eeuw, dat een dergelijke positionering niet meer opging. Om te bepalen welke positionering sindsdien beter bij wiskunde past moet ik nu teruggaan naar het modelbegrip, en nagaan hoe de verhouding tussen wiskunde en het modelconcept veranderd is.

3.c Het model als isoleercel

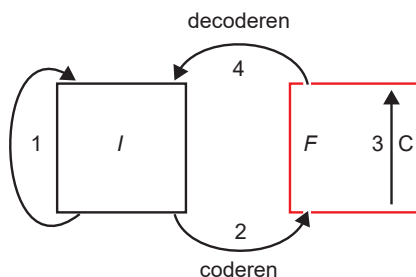
Om de gedachten weer te bepalen bij het modelconcept is hieronder een variant afgebeeld van het oorspronkelijke schema waarmee dit concept werd toegelicht (pagina 113).

- Het originele systeem, waarvan kennis wordt gevormd via een model, is nu aangeduid als I . Bij I behoort een taal waarin beweringen over I (zoals observaties) geformuleerd kunnen worden. Als externe referent is I de bron van de semantisch-inhoudelijke betekenissen van expressies in deze taal. Daarbij kan in het midden gelaten worden of I een materieel systeem is of een formeel systeem.

³⁰ Het scherp onderscheiden van de verschillende niveaus bleek bovendien noodzakelijk te zijn om allerlei verwarringen en paradoxen, zoals de paradox van Richard, te voorkomen (Nagel & Newman, 2001, pp. 32, 60-63).

³¹ Het begrip 'identiteit' heeft hier een andere betekenis dan de betekenis die in deel I toegekend werd aan identiteit-van-een-grensganger. Hier moet identiteit-van-wiskunde begrepen worden als het antwoord op de vraag naar het hoofddoel van wiskunde. Zie hierna pagina 136 e.v.

Figuur 6



- Pijl 2: Een bewering die binnen de taal van I een semantische inhoud heeft wordt vertaald (gecodeerd) naar een *formule* die volgens de syntaxis van F is toegestaan.
- Wanneer de bewerkingen, die volgens pijl 3 op de ingevoerde formule uitgevoerd worden, voldoen aan de normen van een geformaliseerde calculus, dan speelt de inhoudelijke betekenis van de ingevoerde formule daarbij geen enkele rol.
- Inhoudelijke betekenis gaat pas weer een rol spelen wanneer de calculus (pijl 3) een resultaat heeft opgeleverd, dat binnen de taal van I weer geïnterpreteerd (gedecodeerd) kan worden als een bewering met inhoudelijke betekenis.

Om het effect van formalisering aanvullend te verduidelijken zal ik gebruik maken van een metafoor³². Het vak van F kan vergeleken worden met een isoleercel waarin een gevangene is opgesloten die taal en rekenen slechts op het meest elementaire niveau beheerst. De isoleercel heeft twee luikjes, één waardoor iets naar binnen gebracht kan worden, en één waardoor de gevangene iets naar buiten kan brengen. Om te voorkomen dat de gevangene gek wordt krijgt hij een taak opgedragen. De cel staat in de buurt van een bedrijf waar men veel met ronde objecten werkt, en waar men graag bij een gegeven diameter wil weten hoe groot de omtrek is, en bij een gegeven omtrek de diameter wil weten³³. Omdat er in de tijd waarin dit verhaal speelt nog geen rekenmachines bestaan, lijkt het handig om de gevangene te laten rekenen. De gevangene beschikt in zijn cel alleen over potlood en papier, en over een handboek waarin, in zijn moedertaal en in termen van optellen en aftrekken, precies is omschreven wat hij moet doen wanneer door het ingangsluikje een briefje naar binnen komt waarop een formule staat, die begint met "o=" en die daarna gevolgd wordt door een getal. De uitvoering van zijn taak resulteert in een formule die begint met "d=" en die daarna gevolgd wordt door een getal. In een ander hoofdstuk van het handboek leest hij wat hij precies moet doen wanneer door het ingangsluikje een formule binnenkomt in de vorm van "d=" gevolgd door een getal. Een dergelijke formule zet hij om in een formule in de vorm van "o=" gevolgd door een getal.

³² Deze metafoor is geïnspireerd op de bekende vergelijking, van het uitvoeren van een calculus met de taakuitvoering door een blind gehoorzamende rekenaar, die de achtergrond vormt van de stelling van Church en Turing (hoofdstuk 6, § 1.a), de 'Paper Machine' van Turing (hoofdstuk 6, § 2.a), en de 'Chinese Room' van John Searle (hoofdstuk 6, § 2.c).

³³ Zie het eerder gebruikte voorbeeld op pagina 114.

Wanneer de gevangene de taak heeft uitgevoerd, precies zoals in het handboek staat, dan schuift hij een briefje met de uitkomst door het uitgangsluikje naar buiten. Wanneer een ingevoerd briefje niet een toegestane formule bevat, dan schuift hij het direct weer naar buiten en voegt hij er de volgens het handboek voorgeschreven (en voor hem betekenisloze) formule 'error' aan toe.

Het effect van formalisering, dat ik met deze metafoor wil benadrukken, is de strikte scheiding van semantiek en syntaxis. Buiten de isoleercel hebben expressies zoals ' $o=3$ ' en ' $d=2,15$ ' een semantische inhoud, maar het ingangsluikje markeert, tegelijk met de overgang van buiten naar binnen, ook het einde van de semantiek. Binnen de isoleercel fungeren deze expressies als inhoudsloze formules waarop formele operaties worden toegepast volgens een in de binnenwereld gegeven syntaxis. Pas na de passage door het uitgangsluikje wordt een formule weer een expressie met inhoudelijke betekenis.

Bij het bovenstaande voorbeeld moet nu aangetekend worden dat het formaliseren van *berekeningen* in de wiskunde al heel oud is. De nieuwe ontwikkeling, die zich in de 19^e en 20^e eeuw voltrok, is het volledig formaliseren van wiskundige *redeneringen*. Het is typerend dat Russell en Whitehead een geformaliseerde redenering aanduiden als een 'calculus'. Daarmee geven zij aan dat er geen wezenlijk verschil bestaat tussen een geformaliseerde berekening en een geformaliseerde redenering. Wanneer ik deze gelijkstelling wil toetsen aan de metafoor van de isoleercel, dan moet ik mij afvragen hoe ik het voor elkaar zou kunnen krijgen om de gevangene in de isoleercel, in plaats van een berekening, een wiskundig bewijs te laten produceren.

Wanneer de wiskundige theorie, waarbinnen het bewijs geleverd moet worden, nu vastgelegd is volgens een axiomatisch systeem van afspraken, zoals hiervoor op pagina 128 beschreven is, dan blijkt het inderdaad goed mogelijk te zijn om een gevangene zó precies aan te sturen, dat een serie van formele operaties die hij op voor hem inhoudsloze formules toepast, in de buitenwereld de betekenis heeft van een wiskundig-logische bewijsvoering. Men moet hem dan echter niet alleen een 'startformule' verstrekken, zoals in het vorige voorbeeld, maar ook geformaliseerde 'instructies' die hem duidelijk maken welke serie van operaties, die hij in zijn handboek kan vinden, achtereenvolgens toegepast moeten worden. Stel dat er voor deze theorie vijf primitieve formules gelden (pr1, pr2, ..., pr5) en drie transformatieregels (tr1, tr2, tr3), dan moeten er aan de startformule instructies worden toegevoegd zoals: "neem pr2", "doe tr3", et cetera. Kortom (anachronistisch geformuleerd): de gevangene moet niet alleen gevoed worden met 'data', maar ook met een 'programma'. En, de gevangene moet over zodanige handboeken beschikken dat hij adequaat reageert op het verschil tussen 'data' en 'instructies'. Het verschil tussen de gevangene die een eenvoudige berekening kan uitvoeren en de gevangene die een wiskundige redenering kan reproduceren, komt slechts overeen met

het verschil tussen een niet- en een wel-programmeerbare automaat³⁴. Het 'calculeren' van een redenering verschilt zo gezien niet wezenlijk van een berekening.

Misschien is de intuïtie van de samenhang tussen formaliseren en automatiseren toch ook al heel oud. In de Menon van Plato, 81A-87A (2003, pp. 97-110), wordt verteld hoe Socrates een slaaf de stelling van Pythagoras laat bewijzen. De 'sturende vragen' waarmee Socrates de slaaf langs de stappen van het bewijs stuurt kan men vergelijken met het hierboven genoemde 'programmeren' van een gevangene. Er is natuurlijk ook een belangrijk verschil in interpretatie. Voor Plato illustreerde zijn voorbeeld dat ieder mens, dus ook een ongeletterde slaaf, in een zuiver geestelijk bestaan voor zijn geboorte, al kennis heeft opgedaan van de 'eeuwige Vormen' waar de wiskunde zich op richt.

Wat mij tussen toen en nu overeenkomstig lijkt, is de fascinatie voor formele structuren die, los van toepassing op inhouden, een eigen innerlijke logica bezitten.

3.d De identiteit van wiskunde

Rond de eeuwwisseling van de 19^e naar de 20^e eeuw begonnen wiskundigen zich te realiseren dat hun vak zich had ontwikkeld tot een discipline, die op enkele aspecten ingrijpend verschilde van de traditionele wiskunde (Struik, 2008, p. 257). Het eerste verschil betreft de vervanging van 'waarheid' door 'geldigheid' (Nagel & Newman, 2001, pp. 10-11). Terwijl het in de tijd van Euclides, en eeuwenlang daarvoor en daarna, essentieel geacht werd dat axioma's, en wiskundige systemen in hun geheel, *waarheden* representeren, werd dit principe vanaf de 19^e eeuw steeds meer losgelaten. Deze ontwikkeling leidde ertoe dat wiskundigen, na de 20er jaren van de 20^e eeuw, in het algemeen van opvatting zijn dat de vraag naar waarheid binnen hun discipline irrelevant is. Het begrip 'waarheid' is vervangen door 'geldigheid' of 'juistheid'³⁵, met andere woorden: door een relatief begrip. Het antwoord op de vraag, of een bewering juist is, hangt af van de constructie van het axiomatische systeem waarbinnen die vraag beantwoord moet worden. In wiskundige publicaties kan men nog steeds symbolen tegenkomen zoals 'T' en 'F', die herinneren aan 'true' en 'false', maar de 'T' betekent alleen maar dat een gegeven kan worden aangemerkt als 'geldig in een specifieke context'. Wiskunde ziet zichzelf dus niet langer als een leverancier van *waarheid*. Een blijvend aspect in deze verandering is, dat wiskunde zichzelf nog steeds ziet als leverancier van *zekerheid*, ook al is die zekerheid betrekkelijk geworden ("wanneer we uitgaan van ... dan is het zeker dat ..."). In die zin past de Nederlandse aanduiding als *wiskunde* nog steeds.

Een tweede verschil betreft het karakter van het object van onderzoek (en bijbehorende gevolgtrekkingen) waar wiskunde zich, in onderscheid van andere disciplines, op

³⁴ Die in dit geval een mens is! Of een 'automatisch functionerende mens' al dan niet gelijk gesteld kan worden aan een 'automatisch functionerende machine' is een vraag waar ik later op terug zal komen.

³⁵ In het Engels: 'validity'.

richt. Traditioneel werd wiskunde opgevat als studie van geometrische en numerieke structuren (c.q. vormen van gevolglijkheid). In termen van modelvorming (zie pagina 113): wiskunde kon oorspronkelijk gezien worden als onderzoek naar numerieke en geometrische kenmerken van objecten in de waarneembare werkelijkheid. Ook dit traditionele uitgangspunt werd geleidelijk aan in de loop van de 19^e en begin 20^e eeuw losgelaten. Het werkterrein werd sterk uitgebreid, doordat men ook vele andere soorten van structuren als voorwerp van studie en onderzoek ging nemen. Eén van de 19^e-eeuwse uitbreidingen betrof de formele structuren van logische redeneringen, maar daarna en daarnaast bleken vele andere soorten van structuren eveneens mathematisch formaliseerbaar te zijn. Getallen kunnen in deze structuren een rol spelen, maar dat is niet noodzakelijk. *Zuivere wiskunde* richt zich sinds die tijd op formele systemen als zodanig, onder afzien van de vraag welke toepassingen of inhouden deze systemen al dan niet kunnen hebben³⁶. Naast de zuivere wiskunde bestaan er nog steeds deeldisciplines die als *toegepaste wiskunde* gekarakteriseerd worden. Binnen die deeldisciplines stellen wiskundigen hun formaliseringsvaardigheden in dienst van het oplossen van concrete puzzels, zoals de risico's van verzekeringen, het ontstaan van files, of allerlei andere ingewikkelde problemen die binnen andere disciplines dan de wiskunde opkomen³⁷. Maar, dit oplossen van concrete problemen wordt op-zich niet als bijdrage aan de wiskunde gezien. De bijdrage van dergelijke toepassingen aan de wiskunde bestaat uit de ontdekkingen die zij kunnen opleveren met betrekking tot bekende en nieuwe soorten van formele structuren.

Op grond van deze ontwikkeling kan de nieuwe identiteit van wiskunde geformuleerd worden als:

³⁶ Deze opvatting heeft geleid tot discussies over de verhouding tussen wiskunde en logica. Moet wiskunde gezien worden als een toepassing van logica, of is logica een deelgebied van wiskunde? In dit verkennende onderzoek wordt logica opgevat als een studie van formele structuren, die als zodanig behoort tot het werkterrein van de zuivere mathematica.

³⁷ Hiertoe behoren uiteraard ook de vele toepassingen binnen de fysica, waarvan enkele al eerder genoemd werden op pagina 124 e.v., en vele andere nog aan de orde zullen komen in deel IV.

de ontwikkeling van kennis:

- van het formaliseren³⁸,
- en van de zuiver formele systemen die daar het resultaat van zijn,
- en van de vormen van gevolglichheid die aan zuiver formele systemen inherent zijn³⁹.

De passie van wiskundigen is gelegen in het ontdekken, uitvinden en exploreren van zuiver formele systemen. De fascinatie, verwondering en bewondering die 'zuivere vormen' bij mensen kunnen oproepen, dat is door de eeuwen heen de intrinsieke motivatie gebleven die het voor wiskundigen de moeite waard maakte om hun eigen leven en de

³⁸ Om dit aspect te typeren gebruikt Singh (1997, p. 77) een mooi citaat van Anglin: *Mathematics is not a careful march down a well-cleared highway, but a journey into a strange wilderness, where the explorers often get lost. Rigour should be a signal to the historian that the maps have been made, and the real explorers have gone elsewhere.*

³⁹ In de woorden van Rosen (1991, p. 45): "*It's object is the universe of formal systems*" Daarbij moet echter opgemerkt worden dat er intensieve debatten gevoerd werden over de vraag, van welke aard dit 'universum van formele systemen' nu eigenlijk is. E.W. Beth (1954, pp. 12-13) onderscheidt bijvoorbeeld vier mogelijke posities in dit debat:

1. Intuitionisme (L.E.J. Brouwer). Volgens deze visie vormen basis-structuren van processen in de menselijke geest, die aan taal voorafgaan, de oorsprong van formele systemen. Zie ook (Iemhoff, 2015, pp. 1-5).
2. Formalisme. Wetenschap van formele systemen is de wetenschap van alle *mogelijke* objecten (Gonseth: "Physique de l'object quelconque").
3. Platonisme. Het 'universum van formele systemen' is een onafhankelijk van mensen bestaande 'geestelijke realiteit' in een werkelijkheid die niet-zintuiglijk, maar wel met het 'geestesoog' waarneembaar is.
4. Nominalisme. Het 'universum van formele systemen' is een fictieve werkelijkheid die juist wel op taal gebaseerd is. Wanneer mensen in verschillende fenomenen overeenkomstige kenmerken herkennen, en generieke namen geven aan verzamelingen van fenomenen die overeenkomstige kenmerken gemeen hebben, dan ontstaan generieke concepten zoals 'mens', 'tafel', 'boom' et cetera.

Het is duidelijk dat denkers zoals Beth en Rosen de voorkeur geven aan deze laatste benadering. Formele systemen berusten volgens deze benadering op het isoleren van de syntactische taaldimensie in een calculus, om zodoende allerlei varianten van logische gevolglichheid zo zuiver mogelijk te kunnen bestuderen. In Rosens woorden: "*mathematics is the study of inferential entailment, the art of extracting inferents from premises or hypotheses.*" (1991, p. 45).

cultuur waarvan zij deel uitmaakten met hun discipline te verrijken. Toepasbaarheid en nuttigheid kwamen daarbij altijd pas op de tweede plaats⁴⁰.

Het boeiende van wiskunde is dus vooral verbonden met het meta-mathematische niveau. Het is interessant om nieuwe calculi te ontdekken of uit te vinden, en wanneer die er eenmaal zijn, dan is het interessant om daarbinnen uit te vinden hoe een bepaalde formule uit andere formules afgeleid kan worden. Die afleidingen bleken soms zo moeilijk te vinden, dat het eeuwen kon duren voor zij gevonden werden⁴¹. Een calculus geeft immers zelf geen aanwijzingen voor de 'organisatie' van de afleiding die een wiskundige wil vinden. Om een gewenste oplossing te vinden moet een wiskundige afstand nemen van een calculus en die creatief-analyserend beschouwen, zoals een schaker naar een stelling op het schaakbord kijkt. Geformaliseerde systemen zijn boeiend en interessant omdat men, op een meta-niveau van taal, erover kan nadenken, er gesprekken en discussies over kan voeren, daarbinnen vernuftige constructies en daarbij creatieve variaties kan verzinnen, et cetera, et cetera.

4 NIEUWE PROBLEMEN

De zuiver formele systemen, die vanuit de nieuwe identiteit van wiskunde als het centrale voorwerp van onderzoek gezien werden, brachten ook hun eigen vraagstukken met zich mee. Het 'consistentieprobleem' en het 'volledigheidsprobleem' behoorden tot de fundamentele vraagstukken die als eerste om aandacht vroegen. Omdat de ontwikkelingen rond deze twee problemen ook belangwekkende filosofische discussies over reductionisme opriepen, zal ik deze vraagstukken hier eerst kort beschrijven.

4.a Het consistentieprobleem

Consistentie is van oudsher een wezenlijk kenmerk van wiskundige systemen. In de context van wiskunde betekent dit begrip dat een systeem geheel vrij is van tegenstrijdigheden. Dit impliceert dat beweringen, die volgens de regels van een consistent systeem geformuleerd zijn óf juist óf onjuist zijn (in oude termen: óf waar óf onwaar). De mogelijkheid van een 'halve waarheid', een samengaan, of een mengvorm tussen juist en onjuist is in een consistent systeem uitgesloten. Deze consistentie is bovendien onmis-

⁴⁰ Singh (1997, p. 165): "*Mathematics has its applications in science and technology, but that is not what drives mathematicians. They are inspired by the joy of discovery.*"

⁴¹ *Fermat's Last Theorem* (Singh, 1997) bevat een boeiende beschrijving van de eeuwenlange zoektocht naar het bewijs van een beroemde stelling. Vele wiskundigen liepen erop stuk, en de wiskundige die uiteindelijk het bewijs vond, Andrew Wiles, had er 8 jaar noeste arbeid voor nodig om het uiteindelijk, in 1994, rond te krijgen.

baar omdat een grote categorie van bewijzen, de bewijzen uit het ongerijmde⁴², precies op dit kenmerk gebaseerd zijn (Singh, 1997, p. 155).

In de 'oude' wiskunde werd consistentie niet geproblematiseerd. Zolang wiskunde opgevat werd als waarheid omtrent tellen en rekenen, of als waarheid omtrent ruimtelijke configuraties, zolang garandeerde het werkelijkheidskarakter van wiskunde haar consistentie (Nagel & Newman, 2001, pp. 13-14). Wanneer we een aantal voorwerpen tellen, dan kan een aantal niet tegelijk 3 en niet-3 zijn, en 3×4 kan niet tegelijk 12 en ook een ander getal zijn. Hetzelfde geldt voor de meetkunde. Een punt in de 'gewone ruimte' ligt precies op één plaats, en kan nooit tegelijk op twee verschillende plaatsen gelegen zijn. Et cetera.

Met het loslaten van de pretentie van 'waarheid', en het ontwikkelen van abstracte systemen, los van de vraag of zij ooit in een bepaald opzicht waar zouden kunnen zijn, veranderde deze situatie drastisch. In plaats van een vanzelfsprekendheid werd consistentie een open kwestie. Hoe kon men er bijvoorbeeld zeker van zijn dat een niet-euklidische meetkunde, waarbij onwaarheid (ten opzichte van onze normale ervaring) bewust op de koop toe genomen is, wel consistent zou zijn (Nagel & Newman, 2001, p. 14)?

Om dit probleem te lijf te gaan begonnen wiskundigen te zoeken naar mogelijkheden om de consistentie van een systeem te bewijzen. De eerste mogelijkheid voor een dergelijk bewijs bleek verbonden te zijn met de toepassingen van een systeem (zie het schema op pagina 129). Men kan bewijzen dat een calculus C consistent is wanneer het zeker is dat één van haar geldige toepassingen⁴³ consistent is. Deze gedachtegang volgend vond men mogelijkheden om aan te tonen dat de axioma's van niet-euklidische meetkonden toepasbaar waren op deelruimtes van de euklidische ruimte (bijvoorbeeld: het oppervlak van een bol). Het resultaat was, dat men zodoende kon bewijzen dat deze niet-euklidische meetkonden consistent zijn indien het zeker is dat de 'gewone' euklidische meetkunde consistent is. Maar, is dat laatste wel zo zeker? Het antwoord op die vraag werd

⁴² Een voorbeeld van een beroemd bewijs uit het ongerijmde is het klassieke bewijs van Euklides dat $\sqrt{2}$ niet als een breuk a/b geschreven kan worden. Dit bewijs begint met de aanname dat er wél twee gehele getallen a en b zouden zijn met de eigenschap dat $\sqrt{2}=a/b$, en leidt daar twee tegengestelde beweringen uit af. De conclusie is dan, dat de aanname die tot deze tegengestelde beweringen leidde *dus* onwaar moet zijn. Met andere woorden: omdat de bewering $\sqrt{2}=a/b$ als consequentie heeft dat een andere bewering tegelijk waar en onwaar zou moeten zijn, daarom *moet* de bewering $\sqrt{2}=a/b$ voor elke mogelijke invulling van a of b onwaar zijn (Singh, 1997, pp. 334-336).

⁴³ In de wiskunde wordt een dergelijke toepassing aangeduid als 'model'. De term 'model' heeft in de wiskundige 'modeltheorie' een betekenis die bijna tegenovergesteld is aan de betekenis waarmee ik deze term op pagina 112-114 heb geïntroduceerd. Daarom vermijd ik in bovenstaande tekst dit wiskundige modelconcept en gebruik ik in plaats daarvan de term 'toepassing'.

niet langer vanzelfsprekend geacht. Het probleem is, dat euclidische meetkunde oneindig is. Er is geen einde aan de verzameling van stellingen die men binnen deze meetkunde kan afleiden. Het gegeven, dat men tot nu toe nog nooit op een contradictie is uitgekomen, geeft nog geen garantie voor de toekomst (Nagel & Newman, 2001, pp. 14-19).

Hilbert ontwikkelde vervolgens een mogelijkheid om de consistentie van de euclidische meetkunde te herleiden tot de consistentie van algebra. Hij volgde daarbij in principe de methode die Descartes al ontwikkeld had om ruimtelijke configuraties naar configuraties van getallen en naar algebraïsche vergelijkingen te vertalen (zie pagina 122). Zodoende kon Hilbert bewijzen dat algebra een geldige toepassing is van de axioma's van de euclidische meetkunde, en dat het dus zeker is dat de euclidische meetkunde consistent is, indien het zeker is dat algebra consistent is (Nagel & Newman, 2001, pp. 19-20). Maar, de consistentie van algebra moet ook weer bewezen worden aan de hand van een toepassing daarvan. De meest in aanmerking komende toepassing is de traditionele getaltheorie en rekenkunde (aritmetica). Wanneer maar bewezen kan worden dat deze consistent is, dan verkrijgt een hele keten van consistentiebewijzen een deugdelijk fundament. Als gevolg van deze beschouwingen kreeg de traditionele getaltheorie en aritmetica de status van een 'hoeksteen' van het wiskundige gebouw. Maar ook voor deze 'hoeksteen' geldt dat deze oneindig is, en dat het gegeven dat er in vele eeuwen geen tegenstrijdigheid ontdekt is, nog geen bewijs is van haar consistentie.

Omdat men zodoende met 'relatieve bewijzen' niet verder kwam, moest er gezocht worden naar een 'absoluut bewijs' van consistentie. Men vermoedde dat een dergelijk 'absoluut bewijs' pas gevonden zou kunnen worden wanneer getaltheorie en aritmetica geheel geformaliseerd zouden zijn (Nagel & Newman, 2001, pp. 25-36). Dit vermoeden werd bevestigd toen bleek dat men inderdaad absolute bewijzen van consistentie kon leveren voor formele systemen met een eenvoudiger structuur (Nagel & Newman, 2001, pp. 45-55). De hoop dat een absoluut bewijs van consistentie ook mogelijk zou blijken voor het meer ingewikkelde systeem van getaltheorie en aritmetica motiveerde tot pogingen om ook deze tak van wiskunde volkomen te formaliseren. Zoals ik al eerder beschreef (pagina 126-126) ging dit gepaard met tegenslagen. De *Principia Mathematica* bood uiteindelijk een zuiver formeel axiomatisch systeem, waarvan getaltheorie en aritmetica een geldige toepassing was, en waarin vooralsnog geen contradicties aangetoond konden worden⁴⁴. Aan de voorwaarden voor een absoluut bewijs van de consistentie van getaltheorie en aritmetica, en (via lange ketens van bewijsvoering) van de consistentie van het hele wiskundige gebouw, was zodoende voldaan. Het wachten was nu op de wiskundige die dit bewijs zou leveren.

⁴⁴ Het was typerend voor de nieuwe status van de traditionele getaltheorie dat, naast dit neutrale 'toelaten', het werkwoord 'verdienen' ('to merit') in gebruik kwam. De zuiver formele calculus, die in de *Principia Mathematica* was uitgewerkt, moest een interpretatie als getaltheorie en aritmetica verdienen (Nagel & Newman, 2001, p. 71).

4.b Het volledigheidprobleem

Deze wiskundige zou echter naast de consistentie ook het voldoen aan de eis van volledigheid moeten bewijzen. Met dit kenmerk wordt bedoeld dat de lijst van afspraken waarmee een calculus gedefinieerd wordt (pagina 128) voldoende moet zijn om over alle toegestane formules, die de vorm hebben van een stelling, te bewijzen of deze stelling juist is of onjuist. Het axiomatische systeem van Euklides kan hier als voorbeeld dienen.

Euklides moet al het inzicht gehad hebben dat de stelling, dat men door een punt P buiten een rechte lijn ℓ slechts één nieuwe lijn m kan trekken die de eerste lijn nooit snijdt (zie pagina 123), niet bewezen kan worden op grond van zijn eerste vier axioma's (Nagel & Newman, 2001, p. 56). Toch was hij van de waarheid van deze stelling stellig overtuigd. Een dergelijke situatie wordt van oudsher als onbevredigend ervaren. Een axiomatisch systeem moet volledig zijn, in de zin dat de axioma's en afleidingsregels doende moeten zijn om van alle kandidaat-stellingen te kunnen bewijzen of zij waar zijn of niet. Wanneer er dan toch een stelling blijkt te bestaan die wel waar is, maar niet bewijsbaar, dan zit er maar één ding op: voeg deze ware en niet-bewijsbare stelling toe aan de axioma's. Maar, men wil natuurlijk ook niet eindeloos doorgaan met het toevoegen van axioma's. Bij een bepaald aantal axioma's (een zo klein mogelijk aantal) moet het systeem *volledig* zijn. Zo was men, in het geval van de meetkunde van Euklides, er eeuwenlang vast van overtuigd dat de vijf axioma's dit systeem volledig maken.

Het probleem dat dit kenmerk van volledigheid met consistentie gemeen heeft is, dat het bij oneindige systemen moeilijk is om er zekerheid over te verkrijgen. Hoe weten we zeker dat er in een meetkunde, die men altijd als volledig beschouwde, toch geen nieuwe stellingen kunnen opduiken die niet bewijsbaar blijken, zodat het systeem van axioma's opnieuw uitgebreid moet worden? En, hoe weten we zeker, nu het systeem van getaltheorie en aritmetica uiteindelijk ook ge-axiomatiseerd is, dat ook dit systeem 'klaar' en volledig is? Bij enkele eenvoudige axiomatische systemen was het al gelukt om een absoluut bewijs van hun volledigheid te leveren (Nagel & Newman, 2001, p. 55). Maar, vooralsnog lukte dit nog niet voor de door Russell en Whitehead ontwikkelde calculus, waarvan getaltheorie en aritmetica een geldige toepassing zijn. Het wachten was op de wiskundige die ook het bewijs voor deze volledigheid zou leveren.

5 KURT GÖDEL

In 1931 publiceerde Kurt Gödel echter zijn "*Über formal unentscheidbare Sätze der Principia Mathematica und verwandter Systeme*". Dit boek bevatte het buitengewoon vernuftige en curieuze bewijs van de stelling, dat zowel de consistentie als de volledigheid van zulke systemen als de Principia Mathematica niet bewijsbaar waren (volgens de spelregels van hun eigen logica). Kort gezegd: Gödel leverde een bewijs van onbewijsbaarheid! Hij prikte zodoende een luchtbel door van overspannen verwachtingen die tot aan die

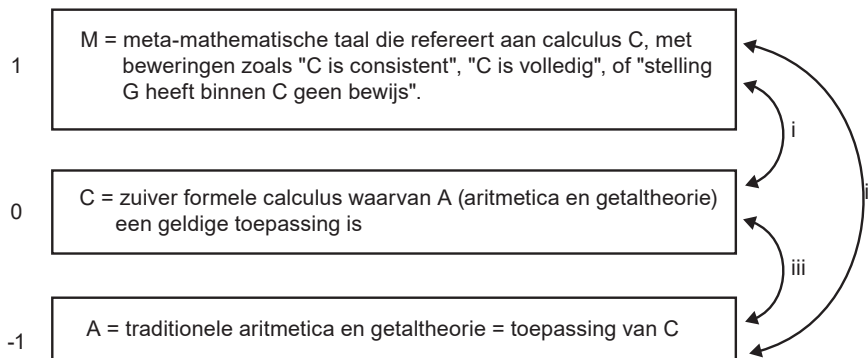
tijd in de wiskundige gemeenschap in brede kringen gekoesterd werden⁴⁵. En, hij deed dit zó overtuigend dat er bij mijn weten nadien geen pogingen meer ondernomen zijn om de verwachtingen van absolute consistentie en volledigheid nieuw leven in te blazen (Nagel & Newman, 2001, p. 109).

5.a Het bewijs

Om nu na te gaan welke consequenties Gödels bewijs heeft voor de reikwijdte en betrekkelijkheid van wiskundig te formuleren gevolgtrekking, moet ik hier enkele elementen van zijn redenering schetsen. Omdat het in dit verband veel te ver zou voeren om in te gaan op de finesses van Gödels bewijsvoering, zal mijn schets slechts een ruwe en sterk vereenvoudigde weergave bieden⁴⁶.

Het onderzoek naar kenmerken zoals consistentie en volledigheid veronderstelt de drie taalniveaus, die ik al eerder noemde (pagina 129). Ook Gödels redenering gaat daarom uit van deze drie niveaus.

Figuur 7



⁴⁵ In de woorden van Nagel en Newman: "Contrary to all prior belief, the vast continent of arithmetical truth cannot be brought into systematic order by laying down once and for all a fixed set of axioms and rules of inference from which *every* true arithmetical statement can be formally derived." (2001, p. 104).

⁴⁶ Daarbij volg ik de beschrijving van het bewijs door Nagel en Newman (2001, pp. 68-108). In deze sub-paragraaf wordt hiernaar verwezen als (a.w., p. xx). Voor geïnteresseerden is het boek van Nagel en Newman aan te raden. Zij bieden daarin een eveneens vereenvoudigde weergave van Gödels bewijsvoering, maar wel uitvoerig genoeg om de lezer een veel betere indruk van het indrukwekkende vernuft van Gödel te bieden dan ik in deze studie kan geven.

Niveau 0 is in dit geval het niveau van de zuiver formele calculus C die in *Principia Mathematica* is uitgewerkt. Op deze calculus was de hoop gevestigd, dat haar consistentie en volledigheid absoluut bewezen zouden kunnen worden.

Niveau -1 is het minder formele niveau A van traditionele aritmetica (rekenkunde) en getaltheorie. Omdat A een geldige toepassing is van C zal, met een absoluut bewijs van de consistentie en volledigheid van C , ook de consistentie en volledigheid van A bewezen zijn. Daarmee zou de consistentie van de 'hoeksteen' (pagina 140) van het wiskundige gebouw bewezen zijn, en zodoende zou, via ketens van relatieve bewijsvoering, ook de consistentie van het merendeel van het hele wiskundige gebouw verzekerd zijn.

Niveau 1 is het meta-mathematische niveau M waarop beweringen zoals " C is consistent" of " C is volledig" thuis horen. Dit zijn immers beweringen *over* C . Een eventueel *bewijs* van dergelijke beweringen moet dus ook op dit niveau plaats vinden!

Welnu, wanneer men op het niveau van M een absoluut bewijs zou willen leveren van de consistentie en volledigheid van C , dan moeten we binnen M niet een beroep doen op weer een andere logica, dan die welke voor C geldt. Want, wanneer de logica van M verschilt van die van C , dan krijgen we op zijn best een resultaat in de geest van " C is consistent wanneer M consistent is" en dan hebben we nog steeds geen absoluut bewijs van consistentie.

Om te verzekeren dat de logica die op niveau M gebruikt wordt niet verschilt van de logica van C , ontwikkelde Gödel een vernuftig systeem om binnen M een logica (gevolglijkheid) te isoleren die gelijk is aan de logica van C . Een systeem dat bovendien één-op-één correspondenties aanbracht tussen de drie niveaus, zodat op niveau M juiste uitspraken over C geformuleerd konden worden. Kort samengevat werkte dit systeem als volgt:

- i: Gödel ontwikkelde een methode om een formule binnen C , en ook een reeks van formules zoals een bewijsvoering binnen C , één-op-één te vertalen in een getal (het zogenaamde 'Gödel-getal'), zodanig dat dit getal ook weer één-op-één weer 'terugvertaald' kan worden naar de oorspronkelijke formule of redenering op niveau C . Zodoende hebben beweringen op niveau M *over* deze Gödel-getallen tegelijk de betekenis van beweringen *over* (met deze getallen precies corresponderende) formules of redeneringen op niveau C . Wanneer we ons op niveau M nu beperken tot rekenkundige beweringen over de Gödel-getallen, dan beperken we ons op niveau M tot de logica die voor rekenkunde geldt, en dat is precies dezelfde logica als die welke in C zuiver geformaliseerd is (a.w., p. 68-80, 84).
- ii: Een rekenkundige bewering over Gödel-getallen op niveau M is niet alleen te interpreteren als een bewering over formules en redeneringen op niveau C , maar ook eenvoudigweg als een aritmetische bewering op niveau A (a.w. p. 80-91).
- iii: En, een aritmetische bewering op niveau A heeft een zuiver formele pendant op niveau C (a.w., p. 73).

Nu hoeft het eindpunt van de 'vertalingen' $i\uparrow+ii\downarrow+iii\uparrow$ (een bewering binnen C) geen verband te houden met de bewering binnen C die er het beginpunt van vormde. Maar, Gödel vond een slimme manier om wel een verband tussen beginpunt en eindpunt te construeren. Zodoende kon hij aantonen dat er op niveau C beweringen kunnen bestaan die, geïnterpreteerd op niveau M, een bewering doen over zichzelf (a.w., p. 84-92).

Op grond van dit alles kon Gödel bewijzen dat er binnen C minstens één bewering (niet een axioma) in de vorm van een juiste formule G moet bestaan die, geïnterpreteerd op niveau M betekent (a.w., p. 95-102):

Formule G heeft geen bewijs binnen C

Conclusie: wanneer M en C (die dezelfde logica gebruiken) consistent zijn, dan moet C minstens één bewering bevatten die, hoewel juist⁴⁷, toch binnen C niet bewijsbaar is.

Nu zou men kunnen denken, dat de onvolledigheid van C gerepareerd zou kunnen worden door G (of niet-G) aan de axioma's toe te voegen. Maar, Gödel toonde ook nog aan dat zijn bewijsvoering altijd herhaald zou kunnen worden binnen het nieuwe axiomatische systeem C', dat zodoende zou ontstaan. En dit tot in het oneindige. De onvolledigheid van C kan dus niet gerepareerd worden. Anders gezegd: C is *essentieel onvolledig* (a.w., p. 93-94, 103-104). Dit resultaat kan ook geformuleerd worden als een metamathematische stelling, die nu bewezen is:

Indien C consistent is, dan is C onvolledig

Hoe indrukwekkend dit resultaat ook was, Gödel zag dat hij met zijn methodiek nog meer kon bereiken. Volgens die methodiek kon hij met niet al te veel moeite bewijzen dat de bewering "C is consistent", via de door hem geconstrueerde niveau-koppelingen, correspondeert met een formule binnen C die (net als G) noodzakelijk tot de categorie niet-bewijsbaar behoort (a.w., p. 94, 104-106). Op het niveau van M is zodoende ook bewezen:

Indien C consistent is, dan kan deze consistentie niet bewezen worden

Bij dit laatste resultaat moet uiteraard aangetekend worden dat dit geldt binnen de zelf-opgelegde beperkingen van Gödels bewijsvoering. Deze was bewust zodanig van opzet dat de op het niveau van M gebruikte logica exact correspondeerde met de logica van C,

⁴⁷ Dat er een onbewijsbare formule G binnen C moet zijn, die bovendien juist is, is eenvoudig aan te tonen. Wanneer C consistent is, dan is óf G óf niet-G juist. Wanneer bovendien bewezen is dat er voor G geen bewijs is binnen C, dan is er in ieder geval één bewering binnen C die zowel juist is als onbewijsbaar, namelijk G of niet-G (a.w., p. 66-67).

en dus ook daartoe beperkt bleef. Gödels bewijs sluit dus zeker niet uit dat de consistentie van C op meta-mathematisch niveau bewezen kan worden, maar toont wel aan dat die logica dan elementen moet bevatten die de afspraken, waarmee C als axiomatisch systeem gedefinieerd is, te buiten gaan (a.w., p. 107).

Er zijn inderdaad bewijzen van de consistentie van dergelijke calculi (die recht doen aan getaltheorie en aritmetica) geleverd, zoals het bewijs door Gentzen in 1936. Maar deze bewijzen volgen inderdaad een logica die meer (gevolglijkheid) omvat dan getaltheorie en aritmetica zelf. Een dergelijk bewijs zal dus niet verder reiken dan: *getaltheorie en aritmetica zijn consistent wanneer de uitgebreidere logica van deze meta-mathematica consistent is*. Ofwel: zodoende komt men nog niet verder dan een relatief bewijs (a.w., p. 107-108)⁴⁸.

Tenslotte moet over Gödels bewijs nog opgemerkt worden dat de reikwijdte ervan niet beperkt is tot de vorm die Russell en Whitehead in Principia Mathematica aan formalisering gaven. Dat blijkt al uit de titel die Gödel aan zijn publicatie gaf ("*... und verwandter Systeme*", zie pagina 141). Zijn bewijs geldt voor alle axiomatische systemen die gebaseerd zijn op de vier soorten van afspraken die hiervoor op pagina 128 opgesomd werden, en die recht kunnen doen aan getaltheorie en aritmetica⁴⁹. In zijn boek kondigde Gödel aan dat hij in een vervolg ook deze reikwijdte zou aantonen (1962, p. 72). Maar, zijn oorspronkelijke betoog bleek al dermate overtuigend te zijn dat zijn conclusies snel en algemeen aanvaard werden, en een dergelijke aanvulling niet meer nodig was (a.w., p. 94-95). Vandaar dat Nagel en Newman concluderen: "*We are thus compelled to recognize the fundamental limitation concerning the power of formal axiomatic reasoning. Contrary to all prior belief, the vast continent of arithmetical truth cannot be brought into systematic order by laying down for once and for all a fixed set of axioms and rules of inference from which every true arithmetical statement can be formally derived* (a.w., p. 104).

Singh vertelt hoe Russell de ontstane situatie beschreef aan de hand van de oude Hindumythe over het fundament van de wereld (1997, pp. 159-160): men kan zich voorstellen dat er een enorme olifant is die de wereld draagt, maar vervolgens kan gevraagd worden wat het dan is dat de olifant draagt; daarvan kan men denken dat het een enorme schildpad is die de olifant draagt; ... dit houdt nooit op, want men kan opnieuw vragen wat het is dat deze schildpad draagt, en zo voorts tot in het oneindige ...

⁴⁸ Nagel en Newman merken op dat het hiermee logisch nog niet volstrekt uit te sluiten is dat er ooit een absoluut bewijs van consistentie gevonden kan worden, maar deze mogelijkheid is "most unlikely" (a.w., p. 109).

⁴⁹ Zoals eerder vermeld, op pagina 140, kunnen voor sommige meer eenvoudige axiomatische systemen wél absolute bewijzen van consistentie gegeven worden.

5.b Ontwikkelingen

Gödels bewijs confronteerde de wiskundige gemeenschap met twee fundamentele beperkingen:

1. De consistentie van grote delen van de wiskunde kan hoogst waarschijnlijk nooit be-
wezen worden.
2. Wanneer een geformaliseerd axiomatisch systeem, dat recht kan doen aan getalthe-
orie en aritmetica, consistent is, dan volgt uit die consistentie dat het noodzakelijk
onvolledig is.

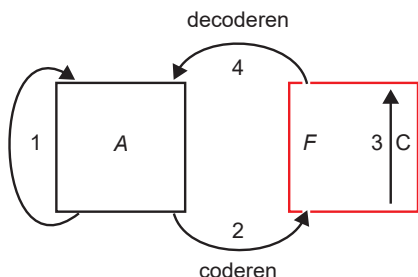
In de wiskundige gemeenschap maakte men zich over de eerste beperking de minste zorgen. In de eerste plaats omdat, zoals hierboven genoemd, er toch overtuigende bewijzen geformuleerd werden van de consistentie van getaltheorie en aritmetica, zoals door Gentzen in 1936. In de tweede plaats omdat men zich de inconsistentie van getaltheorie en aritmetica gewoonweg niet kon voorstellen; en het ook hoogst onwaarschijnlijk werd geacht dat iemand met een tegenvoorbeeld ooit zou bewijzen dat getaltheorie en aritmetica schipbreuk lijden op een fatale contradictie.

Aanvankelijk maakte men zich ook niet veel zorgen over de tweede beperking. Omdat Gödels bewijs geen specifieke stellingen identificeerde die onbewijsbaar waren, en omdat men op getaltheoretisch gebied nog geen stellingen was tegengekomen waarvan de onbewijsbaarheid duidelijk was, nam men aan dat deze onbewijsbare stellingen zich ergens in duistere en extreme uithoeken van getaltheorie zouden bevinden. Deze situatie veranderde echter toen Paul Cohen in 1963 een methode ontwikkelde om binnen een beperkte categorie van stellingen onbewijsbaarheid aan te tonen. Zodoende slaagde hij er als eerste in om specifieke stellingen te identificeren, waarvan het zeker is dat zij (binnen de normale axiomatisch geformaliseerde wiskunde) onbewijsbaar zijn. Tot schrik van de wiskundige gemeenschap bleek één van deze stellingen de eerste te zijn van de 23 belangrijke problemen die Hilbert geformuleerd had in zijn beroemde voordracht tijdens de grote internationale conferentie voor wiskundigen in het jaar 1900 (Singh, 1997, pp. 162-163; Struik, 2008, pp. 257-259). Het effect van de vondst van Cohen formuleert Singh als: "*Gödel's theoretical nightmare became a full-blooded reality*" (1997, p. 162).

Een andere ontwikkeling in het verlengde van Gödels werk deed zich, al enkele jaren na zijn beroemde publicatie, voor op het gebied van de mathematische informatica. Deze ontwikkeling laat ik hier terzijde, omdat ik die in het volgende hoofdstuk apart zal bespreken.

5.c Interpretatie

Figuur 8



Een interpretatie van Gödels bewijs, die in verband met mijn reductionisme-thema van belang is, kan voorbereid worden aan de hand van Rosens modelschema.

- Laat A het systeem zijn van de niet-geformaliseerde aritmetica en getaltheorie. Binnen A kan men een bewering aantreffen zoals: indien men twee verschillende getallen neemt, en men vermenigvuldigt met elkaar de som en het verschil van die twee getallen, dan is het resultaat gelijk aan het verschil tussen de kwadraten van die twee getallen.
- Zoals ieder weet, die op de middelbare school het wiskunde onderwijs met vrucht gevolgd heeft, kan men deze bewering coderen als $(a+b) \times (a-b) = a^2 - b^2$ en in deze vorm door het ingangsluikje bij F naar binnen schuiven.
- Binnen het logisch expliciete, zuiver formele model van calculus C , kan de juistheid van deze bewering nu bewezen worden, zonder dat daarbij gebruik gemaakt hoeft te worden van de semantische kennis dat a en b getallen voorstellen⁵⁰.
- De beperking die Gödel aan het licht bracht heeft als consequentie dat men binnen A ook beweringen kan aantreffen, zoals: *elk even getal kan minstens op één manier geschreven worden als de som van twee priemgetallen*⁵¹, die men bij het ingangsluikje van F wel naar binnen kan schuiven, maar waarbij het principieel onmogelijk kan zijn om aan het uitgangsluikje ooit een bewijs tegemoet te zien.

Deze situatie kan geïnterpreteerd worden met de conclusie: *dat de gevolglijkheid die binnen A bestaat niet volledig correspondeert met, of niet volledig gerepresenteerd wordt door, de zuiver formele gevolglijkheid die in systeem F belichaamd is.* In de woorden van Nagel en Newman "It follows that an axiomatic approach to number theory cannot fully

⁵⁰ Dit bewijs kon natuurlijk ook al op het niveau van schoolalgebra geleverd worden, maar in een dergelijk bewijs speelt nog veel impliciete logica een rol, en is niet uit te sluiten dat er gebruik gemaakt wordt van impliciet-semantisch 'getalbesef'.

⁵¹ Het al eerder genoemde vermoeden van Goldbach (pagina 116).

characterize the nature of number-theoretical truth" (a.w., p. 110), of in de woorden van Rosen "*one cannot forget that Number Theory is about numbers*" (1991, p. 8).

Rosen behoort tot de denkers over complexiteit die de definitie van *complexiteit* ontleen aan deze interpretatie. Hij stelt voor om 'complexiteit' te gebruiken als begrip voor het bovenstaande verschil tussen A en F . Omdat alle gevolgtrekking die in F gevonden kan worden wel correspondeert met gevolgtrekking van A , maar er omgekeerd in A gevolgtrekking voorkomt die F niet volledig kan representeren, kunnen we zeggen dat A een complexer systeem is dan F , en dat F een minder complex ('simpeler') systeem is dan A (1991, p. 9). In vervolg daarop geeft hij aan dat zodoende een perspectief ontstaat op een schaal van steeds complexere systemen, omdat in het vervolg van zijn betoog zal blijken dat er ook systemen zijn waarvan de gevolgtrekking niet geheel in getallen uitgedrukt kan worden (ofwel: weergegeven in een model volgens A) zodat men dan kan concluderen dat die systemen weer complexer zijn dan A , en zo steeds verder (1991, pp. 9-10).

5.d Conclusie en vervolgvragen

In termen van reductie en gevolgtrekking volgt uit het bovenstaande de conclusie, dat de gevolgtrekking die in A belichaamd is niet gereduceerd kan worden tot de gevolgtrekking van het formele model F . Algemeen geformuleerd: *zelfs binnen de wiskunde kunnen al verschillende modi van gevolgtrekking onderscheiden worden, die niet geheel tot elkaar herleid (gereduceerd) kunnen worden.*

Met andere woorden: zelfs binnen de wiskunde zijn er grenzen aan reduceerbaarheid!

De resultaten van Gödel riepen ook vervolgvragen op, zoals:

- Kunnen er één of meer kenmerken van F geïdentificeerd worden, waaraan het te wijten is dat F niet volledig recht kan doen aan de gevolgtrekking van A ? Algemeen geformuleerd: kan er een gevolgtrekking gevonden worden waardoor een axiomatische systematiek van bewijsvoering in bepaalde gevallen tekort schiet?
- Kan er nader bepaald worden *welke* stellingen uit een bepaald gebied van de wiskunde, met waarschijnlijkheid of met zekerheid, niet bewezen kunnen worden?

In het volgende hoofdstuk zullen ontwikkelingen beschreven worden die door deze vervolgvragen in gang gezet werden.

HOOFDSTUK 6

Machinematig denken

Het vorige hoofdstuk eindigde met de ontdekking van ingrijpende beperkingen van de bewijskracht en van de zekerheid die wiskunde te bieden heeft. Het vervolg zal echter laten zien dat juist het verdere onderzoek naar die beperkingen, nieuwe ontdekkingen opleverde die aanleiding gaven tot de opkomst van torenhoge verwachtingen. Die nieuwe ontdekkingen betroffen het inzicht, dat het mathematisch redeneren een vorm van redeneren is, die in principe ook door een machine uitgevoerd kan worden. Deze ontdekking stond aan de oorsprong van de stormachtige ontwikkeling van informatietechnologie die de 20e eeuw te zien gaf. De successen van deze nieuwe technologie gaven voedsel aan nieuwe vormen van reductionisme, zoals de idee dat de werking van het menselijk brein in principe niet verschilt van de werking van een 'computing machine'. Dergelijke ideeën leidden bijvoorbeeld tot de verwachting dat computers in de toekomst het verdere ontwikkelwerk van wiskunde van de mens zouden kunnen overnemen (en verbeteren).

Vervolgens zal beschreven worden hoe er ook een tegenbeweging op gang kwam tegen de reductionistische opvattingen van 'artificial intelligence'. John Searle's kritiek op de onbegrensde verwachtingen van 'strong AI' zal als voorbeeld daarvan behandeld worden. Searle's kritiek berustte op een nieuwe poging om de inherente beperkingen van het wiskundig-machinematige redeneren bloot te leggen, onverschillig of dat redeneren nu door een mens of door een machine wordt uitgevoerd.

Kritiek zoals die van Searle, en tegenvallende resultaten, leidden er tijdelijk toe dat de verwachtingen van 'strong AI' afnamen en dat in brede kring kunstmatige intelligentie eerder als aanvulling dan als plaatsvervanger van menselijke intelligentie beschouwd werd.

In de huidige tijd zien we weer een nieuwe opleving van hoge verwachtingen, in de vorm van de notie van 'superintelligentie', die inhoudt dat kunstmatige systemen op den duur alle intelligente functies kunnen overnemen en verbeteren die tot nu toe door mensen worden vervuld. Daarmee gepaard gaan de scenario's, dat dergelijke superintelligente systemen het einde van de mensheid kunnen betekenen, of een geheel nieuwe fase van de evolutie kunnen inluiden.

Zodoende zal dit hoofdstuk een zich herhalende slingerbeweging laten zien tussen bescheidenheid en hoogmoedig reductionisme. Een slingerbeweging, die opvoeders voor interessante uitdagingen stelt.

1 ALONZO CHURCH EN ALAN TURING

Een belangrijke ontwikkeling in het verlengde van Gödels werk markeert tegelijk het begin van de mathematische informatica. Alonzo Church en Alan Turing kunnen beschouwd worden als grondleggers van deze nieuwe tak van wiskunde. In mijn samenvattende bespreking van hun werk zal ik mij met name concentreren op de begrensdheid van geformaliseerde systemen, zoals Church en Turing (en anderen) die aan het licht brachten.

Turing begon aan zijn studie wiskunde in Cambridge in 1931, het jaar waarin Gödel zijn bewijs publiceerde. Kennelijk is bij hem de interesse in Gödels werk al in zijn studietijd ontstaan. Want, al twee jaar na zijn afstuderen publiceerde hij een doorwrocht paper met de titel "*On Computable Numbers with an Application to the Entscheidungsproblem*" (1936)⁵². Dit paper kwam onder de aandacht van de Amerikaanse hoogleraar Alonzo Church, die in diezelfde tijd artikelen had gepubliceerd met sterk vergelijkbare conclusies. Church beval Turings artikel aan voor officiële publicatie en nodigde hem tevens uit om naar Princeton te komen en aldaar te promoveren. Turing ging op deze uitnodiging in, en promoveerde onder begeleiding van Church in 1938 (Copeland, 2013a).

1.a De stelling van Church en Turing

Het gemeenschappelijke inzicht, waartoe Church en Turing onafhankelijk van elkaar gekomen waren, is uiteindelijk in verschillende formuleringen verwoord, en staat bekend als de Church-Turing Thesis. Om te verduidelijken wat er in deze stelling beweerd wordt begin ik bij de achterliggende gedachtegangen.

Church en Turing waren geïnteresseerd in de vervolgvragen die door Gödels werk werden opgeroepen. Daartoe behoorde onder andere de vraag naar de omvang van de categorie van onvolledige calculi (Copeland, 2013a); en de vraag of, en zo ja hoe, men binnen een calculus zou kunnen identificeren welke specifieke beweringen onbewijsbaar zijn (Singh, 1997, p. 168).

Om dergelijke vragen te beantwoorden verdiepten zij zich in de vraag wat nu eigenlijk het karakter is van een zuiver formele calculus. Voor een antwoord op die vraag begonnen zij bij het inzicht, dat het leveren van een berekening of een bewijs volgens een zuiver formele calculus te vergelijken is met de uitvoering van een strikt voorgeschreven taak door een mens die in 'blinde gehoorzaamheid' instructies opvolgt. De vergelijking dus, waarvan ik hiervoor op pagina 133 al gebruik heb gemaakt bij de metafoor van de 'isoleer cel'. Deze vergelijking werd in die tijd vaker gebruikt, en de werkwijze van een

⁵² Gödel gebruikte de term '*unentscheidbar*' in de titel van zijn beroemde publicatie (zie pagina 141) als synoniem voor 'onbewijsbaar'. Kennelijk had in die tijd de faam van Gödels bewijs ertoe geleid dat het onvolledigheidsprobleem in de Engelse taal aangeduid kon worden als 'Entscheidungsproblem'.

blind gehoorzame rekenaar was aangescherpt middels het concept van een 'effectieve procedure', dat als volgt gedefinieerd werd (Copeland, 2009, pp. 1-2):

1. De procedure heeft de vorm van een eindig aantal exacte instructies (waarbij iedere instructie geformuleerd is in een eindig aantal symbolen).
2. Wanneer de procedure op juiste wijze wordt uitgevoerd bereikt ze haar resultaat in een eindig aantal stappen.
3. De procedure kan (in de praktijk of in principe) door een mens worden uitgevoerd zonder andere hulpmiddelen dan potlood en papier.
4. De procedure vereist geen inzicht of vernuft van het menselijke wezen dat de methode uitvoert.

Voor een mathematicus is het bovenstaande niet voldoende, omdat nog niet duidelijk is wat precies de logische consequenties zijn van het gegeven dat een procedure in bovenstaande zin effectief is. Church zocht de oplossing in de sfeer van een specifieke klasse van functies, die in de wiskunde als '*recursieve functies*' te boek staan. Het aanknopingspunt ligt bij "geen andere hulpmiddelen dan potlood en papier". Dit impliceert dat de uitvoerder, bij een bepaalde stap van zijn taakuitvoering een tussenresultaat op papier kan zetten, en bij de volgende stappen van zijn taakuitvoering geen andere data als input gebruikt dan de initiële data, en de tussenresultaten die hij bij eerdere stappen van zijn taakuitvoering op papier heeft gezet. Een eenvoudig voorbeeld is het berekenen van de opgave $45/3$ met behulp van een staartdeling. De rekenaar kijkt eerst hoe vaak hij 3 van 4 kan aftrekken, hij constateert dat dit $1\times$ is, en hij schrijft dit tussenresultaat op. Daarna kijkt hij wat er overblijft wanneer 3 eenmaal van 4 is afgetrokken, hij constateert dat dit 1 is, en hij schrijft dit op. Et cetera. Zo komen er tussenresultaten op papier waarvan gebruik gemaakt wordt bij volgende stappen. Een dergelijke procedure, waarbij slechts wordt teruggerepen op initiële data en op eerdere resultaten van de procedure zelf, heet in de wiskunde *recursief*⁵³. Vanaf eind 19^e eeuw is er veel onderzoek gedaan naar recursieve procedures en -functies, met onder andere als resultaat dat duidelijk werd dat lang niet alle wiskundige functies aan het kenmerk van recursiviteit voldoen, zodat het hier gaat om een beperkte klasse van functies (Odifreddi & Cooper, 2012; Rosen, 1991, pp. 71-89). Church probeerde daarom de vervolgvragen bij Gödels werk te benaderen vanuit de theorie omtrent recursieve functies (Copeland, 2009, pp. 4-5).

Figuur 9

$$\begin{array}{r} 3/45 \setminus 15 \\ \underline{3} \\ 15 \\ \underline{15} \\ 0 \end{array}$$

⁵³ De algemene definitie van een recursieve functie is: een functie waarbij iedere waarde afgeleid kan worden uit andere waarden van dezelfde functie (Odifreddi & Cooper, 2012, p. 1). Voorbeelden daarvan zijn continue fysische functies met de tijd als onafhankelijke variabele, waarbij een latere toestand berekend kan worden uit de gegevens van een eerdere toestand. Andere voorbeelden zijn functies die discrete stappen in een proces beschrijven zoals 'tellen' of 'rekenen'.

Turing verbond aan de eerste analogie (tussen het volgen van een calculus en het rekenen door een blind gehoorzamende rekenaar) nog een tweede vergelijking. Volgens die tweede vergelijking is het werk van de menselijke rekenaar ook te vergelijken met de werking van een calculerende machine. "Potlood en papier" corresponderen in deze voorstelling met een 'geheugen' dat uit 'geheugenplaatsen' bestaat, waarvandaan data opgehaald kunnen worden en waarheen data (tussenresultaten) weggeschreven kunnen worden. Turing kon tot deze voorstelling komen omdat hij in zijn tijd de opkomst maakte van rekenmachines die over 'geheugens' beschikten. Net als de in 'blinde gehoorzaamheid' calculerende mens gaat een dergelijke machine 'stapsgewijs' te werk, en moet iedere volgende stap eenduidig bepaald zijn door bewerkingen die uitgevoerd worden op geen andere data dan de initiële data en de data die uit eerdere stappen verkregen zijn (Barker-Plummer, 2012, pp. 3-4). Recursiviteit is dus evenzeer een essentieel kenmerk van de werkwijze van een dergelijke machine, als van de procedures die een 'menselijke automaat' kan volgen⁵⁴.

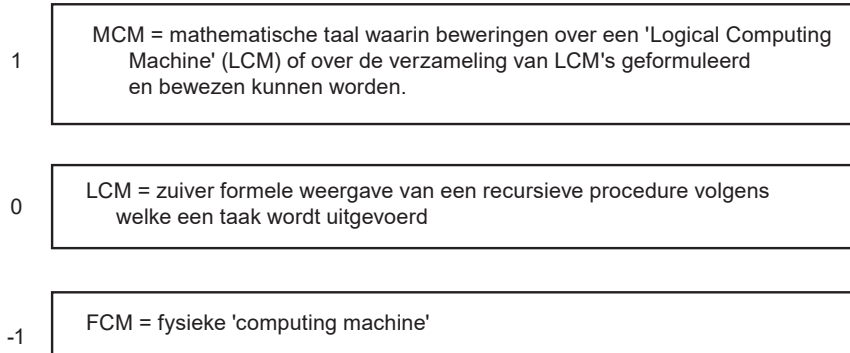
Met zijn 'machinetafoor' werd ook het bovenstaande vierde kenmerk verdisconteerd. Het is immers kenmerkend voor een machine dat deze niet beschikt over enig ander "inzicht of vernuft" dan bevat is in de 'instructies' en in de 'initiële data' die er van buitenaf zijn ingebouwd of ingevoerd.

Vervolgens idealiseerde Turing zowel zijn denkbeeldige machine als de 'blind gehoorzamende rekenaar' door aan te nemen dat de beschikbare hoeveelheid geheugen (of hoeveelheid potloden en papier) onbeperkt is, en dat ook de beschikbare hoeveelheid tijd onbeperkt is. Deze aanname diende om de theorievorming onafhankelijk te maken van toevallige fysieke beperkingen in geheugenruimte of tijd. De 'stappen' die een menselijke rekenaar volgt corresponderen met '*toestanden*' van de machine. In het mechaniek van de machine is ingebouwd hoe deze, op basis van initiële input, een aantal malen automatisch overgaat van de ene toestand naar de volgende, totdat de taak is uitgevoerd en de output verschijnt (Barker-Plummer, 2012, pp. 3-5).

Op grond van dit alles slaagde Turing erin om de recursieve procedures volgens welke een 'computing machine' werkt te formaliseren (Barker-Plummer, 2012, pp. 5-17). Dit niveau lag ingebed tussen het niveau van concrete toepassingen en een meta-niveau. Daarom kan ik zijn bijdrage nu voorstellen door middel van de al eerder gebruikte schematische voorstelling:

⁵⁴ Dat moet ook zo zijn omdat recursiviteit in beide gevallen een voorwaarde is om automatisch te *kunnen* werken.

Figuur 10



Toelichting:

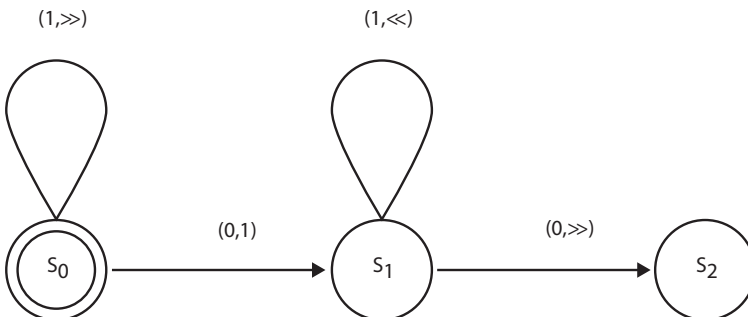
- LCM is het formele niveau van de 'logical computing machine'. Om daarvan een indruk te geven, citeer ik hier twee eenvoudige voorbeelden (Barker-Plummer, 2012, pp. 6-7). Een weergave van de toestandsovergangen, die doorlopen worden om een taak uit te voeren, kan de vorm hebben van een rij van viertallen symbolen, zoals:

Figuur 11

$(s_0, 1, s_0, \gg), (s_0, 0, s_1, 1), (s_1, 1, s_1, \ll), (s_1, 0, s_2, \gg)$

of van een meer figuratief schema, zoals:

Figuur 12



- Met MCM is het niveau bedoeld van 'mathematics of computing machines'. Op grond van een formalisering zoals bovenstaande kon Turing de aanzet geven voor de ontwikkeling van een mathematica waarin beweringen over LCM's geformuleerd en bewezen konden worden.
- Met FCM is een 'fysical computing machine' bedoeld. Bovenstaande formalisering is gebaseerd op een computer die in zijn geheugen slechts twee symbolen toelaat (0 of 1), en waarbij het geheugen ééndimensionaal is (zoals een magnetische tape). Op

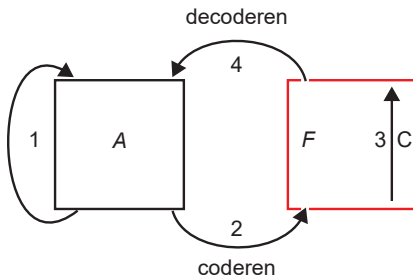
grond van de wiskunde (MCM), die Turing en anderen ontwikkelden, kon men bijvoorbeeld al vrij snel bewijzen, dat het voor het bereik van uitvoerbare taken niet uitmaakt wanneer het alfabet van toegelaten symbolen groter is, of wanneer het geheugen meerdimensionaal is.

- Opgemerkt moet worden dat Turing, in deze fase van theorie-ontwikkeling, uitging van niet-programmeerbare machines. Daarom correspondeert er, in zijn terminologie van dat moment, met iedere recursieve procedure van taakuitvoering één LCM waarin deze procedure vast is 'ingebouwd'.

In de context van het bovenstaande kan de stelling van Church en Turing nu geformuleerd worden als (Copeland, 2009, p. 1):

Iedere effectieve calculatie die door een mens uitgevoerd kan worden, kan door een LCM uitgevoerd worden.

Figuur 13



Het lijkt mij goed om als samenvatting en afronding nog enkele opmerkingen bij deze stelling te plaatsen:

- In vervolg op Gödels werk gaat de stelling dieper in op de situatie die hierboven al geschetst werd met behulp van Rosens modelconcept. Het gaat nog steeds om de vraag naar de reikwijdte van een zuiver formele calculus C (een berekening, een bewijs, een logische afleiding). Het is de kracht van de stelling dat deze de werkwijze van C eerst inhoudelijk typeert als 'effectieve calculatie', vervolgens stelt dat iedere 'computing machine' die over een geheugen beschikt precies hetzelfde kan bereiken, en tenslotte de werkwijze van een dergelijke 'computing machine' zo goed formaliseert dat beweringen over C wiskundig onderzocht en bewezen kunnen worden. De stelling biedt zodoende een uitvoerbaar perspectief op het formaliserend onderzoeken van de werkwijze en de resultaten van een proces dat tot dan toe alleen inhoudelijk, niet-formeel, benoemd en besproken kon worden (Copeland, 2009, pp. 2-3). Aan het openen van dit perspectief ontleent de stelling zijn kracht en zijn belang. Kort gezegd: *de stelling stelt in staat om het resultaat van wiskundig formaliseren (een*

berekening, een bewijs, oplossing van een vraagstuk), zelf ook weer te formaliseren, en zodoende wiskundig onderzoekbaar te maken.

- De stelling heeft zelf niet het karakter van een wiskundig bewijsbare stelling, omdat deze een inhoudelijk concept (effectieve calculatie) in verband brengt met een formeel concept (de LCM). Vele auteurs geven er dan ook de voorkeur aan om de stelling te typeren als een '*werkhypothese*' (Barker-Plummer, 2012, p. 1; Copeland, 2009, pp. 2, 5, 7).
- De stelling is omkeerbaar, omdat het evident is dat de werkwijze van een LCM het karakter heeft van een effectieve calculatie. De consequentie is, dat een menselijke 'automaat' in theorie (met voldoende tijd van leven en voldoende papier) alles kan uitvoeren wat een LCM kan uitvoeren.
- De stelling is falsifieerbaar. In theorie zou er immers een tegenvoorbeeld gevonden kunnen worden van een effectieve calculatie die wel voor een mens uitvoerbaar is, maar waarvan zou blijken dat die voor een LCM niet uitvoerbaar is. Een dergelijk tegenvoorbeeld is echter nooit gevonden (Barker-Plummer, 2012, p. 1).
- De stelling wordt nog steeds als zeer plausibel beschouwd. Naast het bovenstaande worden daarvoor twee argumenten aangevoerd (Copeland, 2009, pp. 6-7):
 - + bij iedere nieuwe calculeerbare functie, die sindsdien onderzocht is, kon steeds een LCM geconstrueerd worden die de calculatie voor zijn rekening kon nemen;
 - + iedere andere formalisering van het concept 'effectief calculeerbaar' leidde tot het identificeren van precies dezelfde reikwijdte van wiskundige functies en problemen als die welke geïdentificeerd was als 'Turing-computable' (LCM-computable).
- Wat bij Turing zelf nog een 'Logical Computing Machine' heette, kreeg in de vloed van literatuur die daarop volgde als gebruikelijke naam: 'Turing Machine' (TM). Bij deze aanduiding zal ik mij in het vervolg aansluiten.

1.b Ontwikkelingen

Op grond van de door hem ontwikkelde wiskunde (MCM) kon Turing in zijn oorspronkelijke paper al bewijzen, dat het berekenen van alle gewenste getalsoorten, tot in elke gewenste graad van nauwkeurigheid⁵⁵, voor de door hem geconcipeerde machines mogelijk was (Barker-Plummer, 2012, p. 17).

Met betrekking tot het aritmetische systeem kwam hij met zijn theorie tot verder strekkende conclusies dan Gödel (Barker-Plummer, 2012, pp. 20-25). Waar Gödel kon aantonen dat er bij een axiomatisch systeem zoals de *Principia Mathematica* (PM) steeds minstens één stelling moest zijn die niet beslisbaar was, kan men op grond van Turings

⁵⁵ Zoals bekend zijn er vele getallen (zoals $\sqrt{2}$, π , of e) die niet exact in een eindig aantal decimalen weergegeven kunnen worden. Dergelijke getallen heten in Turings terminologie toch 'computable' wanneer zij tot in elke gewenste mate van nauwkeurigheid benaderd kunnen worden.

theorie aantonen dat er een *oneindig* aantal aritmetische taken moet bestaan (berekeningen of logische deducties), waarbij het onmogelijk is om een TM te construeren die deze taken kan uitvoeren. Men slaagde er op den duur ook in om concrete vraagstukken te identificeren die *niet* 'Turing-computable' zijn⁵⁶. Uiteindelijk werd men het erover eens dat het bereik van Turing Machines exact gelijk is aan het bereik van de beperkte klasse van wiskundige functies die te schrijven zijn als recursieve functies.

Een andere belangrijke ontwikkeling was de constructie van de Universele Turing Machine (UTM) (Barker-Plummer, 2012, pp. 18-20). De UTM is de formele voorstelling van een TM die alle mogelijke TM's kan simuleren. Een UTM is daartoe in staat, omdat men een gecodeerde versie van een willekeurige TM kan laten opnemen in diens geheugen. Met andere woorden: een UTM is de formele voorstelling van een fysieke programmeerbare computer, die immers, door de verschillende programma's die men kan 'inladen', de functies van allerlei verschillende soorten van 'computing machines' kan vervullen.

De theoretische ontwikkeling van de UTM ging hand in hand met de opkomst van de programmeerbare computer. Men noemt sindsdien een computer, waarbij zich in het geheugen niet alleen data bevinden, maar ook een programma ook wel een '*von Neumann machine*' (Freiberger & Swaine, 2013). In theorie zijn de prestaties van programmeerbare computers gelijk aan die van de verzameling van 'eenvoudige' TM's, maar voor de praktijk heeft de ontwikkeling van programmeerbare computers uiteraard een groot verschil gemaakt.

Het is verwonderlijk om achteraf te constateren dat de ontwikkeling die door Turing oorspronkelijk bedoeld was om vervolgvragen op Gödels werk te kunnen beantwoorden, als 'bijproduct' de weg heeft gebaad voor een enorme en ingrijpende technologische ontwikkeling. Het wekt eveneens verwondering dat de wiskundige theorie, waarvan de principes al in de 30er en 40er jaren van de vorige eeuw ontwikkeld werden, ondanks alle technologische ontwikkeling, nog steeds fungeert als een geldig formeel kader voor de huidige generatie van computers.

1.c Interpretaties en discussies

Een voorbeeld van eerste reacties, die het werk van Gödel en Turing opriepen, ontleen ik aan de *Concluding Reflections* waarmee Nagel en Newman hun boek over de stelling van Gödel in 1958 afsloten (Nagel & Newman, 2001, pp. 109-113).

⁵⁶ De verzameling van diofantische vergelijkingen (Encyclopaedia Britannica, 2013) biedt een bekend voorbeeld daarvan. Dit zijn vergelijkingen op basis van gehele getallen, zoals $x^2 - y^2 = z^3$. De russische wiskundige Yury Matiyasevich bewees in 1970 dat deze vergelijkingen in het algemeen niet recursief oplosbaar zijn. Zodoende werd een oneindige verzameling van problemen geïdentificeerd die niet Turing-computable zijn (Hintikka, 2013b).

Zij stellen daarin de vraag, of er in principe een 'calculating machine' geconstrueerd zou kunnen worden die qua mathematische intelligentie de gelijke zou zijn van het menselijke brein. Naar hun mening kan men aan het werk van Gödel⁵⁷ de conclusie verbinden dat dit niet zo is. Zij baseren die conclusie op de volgende argumentatie:

Een specifieke exact geregeleerde 'step-by-step-vorm' kenmerkt zowel kant en klare berekeningen of bewijzen, als de procedures die machines volgen. Maar, zoals Gödel bewees, zijn er formele systemen (zoals de calculus van *PM*) waarin ontelbaar veel problemen voorkomen die buiten het bereik vallen van een dergelijke 'step-by-step-procedure'. Wanneer men met deze problemen verder wil komen, dan moet men buiten de kaders treden van het gegeven formele systeem en zijn procedures. Zoals de ontwikkeling heeft laten zien kan men bijvoorbeeld verder komen met behulp van een meta-mathematica met nieuwe afleidingsregels. Maar, voordat men dergelijke nieuwe bewijsmethoden in machines kan inbouwen moeten zij eerst gedefinieerd en geformaliseerd zijn. Welnu, het ziet er naar uit dat nog lang niet alle mogelijkheden van het menselijk intellect bekend en geformaliseerd zijn, of dat ooit zullen zijn. Het ziet er naar uit dat er altijd nieuwe bewijsmethoden zullen zijn die nog wachten op hun uitvinding en ontdekking, en dat er mensen nodig zijn om die innovaties te bedenken.

Het is interessant om te lezen hoe Douglas Hofstadter, in zijn voorwoord bij de heruitgave van Nagel en Newmans boek in 2001, de bovenstaande conclusies bestrijdt (2001, pp. xv-xx). Zijn voornaamste argument komt erop neer, dat Nagel en Newman de fout maken dat zij de werking van computers identificeren met de stapsgewijze productie van een berekening of bewijs. Hij wijst erop dat computers tegenwoordig veel meer taken vervullen dan alleen deze. In reactie op de vraag van Nagel en Newman, of een computer ooit het wiskundig intellect zou kunnen evenaren, geeft Hofstadter als sprekend voorbeeld het programma 'Artificial Mathematician'. Dit programma is ontworpen om, op het gebied van getaltheorie, naar interessante concepten te zoeken. De werking ervan berust op een rudimentair model van esthetica en eenvoud. Dit programma produceert geen berekeningen of bewijzen, maar voert een taak uit op het gebied van de heuristiek. Een gebied waarvan men tot voor kort dacht dat het exclusief voorbehouden was aan intuïtie en creativiteit. Een programma, dat inderdaad stapsgewijze werkt volgens een "fixed set of directives", is dus ook in staat om een taak uit te voeren op een heel ander gebied dan Nagel en Newman voor mogelijk hielden. En, volgens Hofstadter, met ongeveer evenveel

⁵⁷ Nagel en Newman noemen het werk van Turing niet expliciet. Maar, omdat zij Gödels conclusies extrapoleren naar de mogelijkheden van computers, en Turings werk deze extrapolatie onder de aandacht bracht, en geheel in de lijn van Gödels gedachtegang uitwerkte, interpreteer ik hun concluderende reflectie als een reactie op het werk van beiden.

succes als een wiskundige van vlees en bloed. Onder andere aan dit voorbeeld⁵⁸ verbindt Hofstadter de conclusie: "*There is no reason to think that the process of creative mathematical thinking cannot, at least in principle, be modeled using computers*" (2001, p. xix).

Copeland (2009, pp. 7-16) wijt daarentegen dergelijke hoge verwachtingen van Artificial Intelligence aan mythevorming. Een mythe, die berust op een onjuiste interpretatie van het concept van de Universele Turing Machine⁵⁹. Volgens die interpretatie zou Turing bewezen hebben dat zijn UTM zonder enige restrictie het gedrag van *elke* 'computing machine' kan simuleren. Het begrip van een 'computing machine' wordt vervolgens zo ruim opgevat dat ook biologische stimulus-respons systemen daar onder vallen, en dus ook het menselijk brein. Copeland illustreert deze misverstanden aan de hand van citaten van bekende cognitieve wetenschappers in gerespecteerde media, zoals *The Oxford Companion to the Mind* en *A Companion to the philosophy of Mind*. Van deze laatste bron citeert hij uit het lemma over Turing: "*we can depend on there being a Turing machine that captures the functional relations of the brain*" (2009, p. 13). Met andere woorden: uiteindelijk zal de hele psychologie verklaard kunnen worden in termen van Turing Machines⁶⁰.

Copeland stelt hier tegenover dat niet vergeten moet worden dat de stelling van Church en Turing haar uitgangspunt neemt in het 'blind gehoorzame' functioneren van een rekenaar die geen andere hulpmiddelen gebruikt dan potlood en papier. De stelling poneert vervolgens dat ook een specifieke soort van machine kan uitvoeren wat deze rekenaar kan uitvoeren. Daarmee wordt volgens Copeland niet uitgesloten dat er machines kunnen zijn met een repertoire waartoe operaties behoren die buiten het bereik vallen van de 'blind gehoorzamende rekenaar' (2009, p. 8). En daarom acht hij het ook ze-

⁵⁸ Naast dit voorbeeld gebruikt Hofstadter nog een ander voorbeeld, en een argument dat mij niet sterk lijkt. Uit het gegeven dat Gödel in zijn bewijs meta-mathematische beweringen vertaalt in getallen, en daar vernuftig gebruik van maakt, concludeert Hofstadter: "that numbers are a universal medium for the embedding of patterns of any sort". En vervolgens: omdat de werking van computers berust op operaties op getallen, zouden computers dus in principe ook recht kunnen doen aan patronen van elke soort (2001, pp. xviii-xix).

⁵⁹ Een interpretatie die, ook al noemt Copeland dit niet, ook in sterke mate gevoed zal zijn door de successen en door het onvoorzien grote bereik van toepassingen van programmeerbare computers.

⁶⁰ Een ander voorbeeld van deze stellingname vond ik bij de vooraanstaande cognitieve psycholoog Johnson-Laird (1983). In zijn boek *Mental Models* is een eerste hoofdstuk opgenomen onder de titel *The nature of explanation*. In dit hoofdstuk gaat hij na of psychologie een verklarende wetenschap kan zijn, en hij komt tot de conclusie dat dit alleen mogelijk is wanneer de Turing Machine ook als model voor de werking van de psyche wordt gehanteerd. Naar zijn idee is het computer-model van de psyche niet een model van voorbijgaande aard, maar: "*if both Turing's thesis and functionalism are correct, any future theory of the mind will be completely expressible within computational terms. The computer is the last metaphor; it need never be supplanted.*" (1983, p. 10).

ker mogelijk dat het menselijk brein zal blijken een machine te zijn die tot deze 'buiten-categorie' behoort, zodat de psychologie gebruik zal moeten maken van modellen die de Turing Machines te buiten gaan (2009, p. 12).

In aanvulling hierop moet de analyse van Robert Rosen (1991) genoemd worden, die tot de conclusie komt dat niet ieder materieel systeem georganiseerd hoeft te zijn *als een machine*. Volgens zijn analyse is het kenmerkend voor de organisatie van iedere machine dat deze 'semantisch blind' functioneert binnen een kader dat extern bepaald is. Volgens diezelfde analyse is de organisatie van levende systemen zodanig dat zij deze beperking te buiten kunnen gaan. De meer complexe organisatie van levende systemen, inclusief het brein, stelt hen in staat om vanuit hun interne dynamiek te variëren op voorgegeven kaders (a.w., hoofdstuk 9-11).

1.d Conclusies

De theorie-ontwikkeling die op de stelling van Church en Turing gebaseerd is geeft belangrijke antwoorden op de vervolgvragen die het werk van Gödel opriep (pagina 150).

- Deze theorie bevestigt allereerst dat systemen, die voor de wiskunde als voorwerp van onderzoek dienen, meer gevolgbijheid kunnen belichamen, ofwel complexer kunnen zijn, dan de gevolgbijheid waarvan 'semantisch blind' uitvoerbare step-by-step berekeningen of afleidingen rekenschap kunnen geven. Kennelijk kunnen de eisen van een 'effectieve', of 'recursieve', procedure een beperking impliceren die verarming van gevolgbijheid als consequentie heeft.
- De theorie heeft bovendien de mogelijkheden verbeterd om (verzamelingen van) problemen te identificeren die al dan niet Turing-computable zijn. Dit betreft vraagstukken die een ruimer gebied bestrijken dan Gödels bewijsbaarheid, zoals het oplossen van bepaalde soorten van vergelijkingen.

De keerzijde van de beperkingen die de theorie van Turing aan het licht bracht, is uiteraard de ontdekking van het enorme bereik aan toepassingsmogelijkheden. De ontwikkeling van programmeerbare computers heeft praktisch aangetoond dat er, naast de oplossing van wiskundige vraagstukken, onafzienbaar veel meer taken zijn die volgens geformaliseerde step-by-step-procedures uitgevoerd kunnen worden.

Het is daarbij opmerkelijk dat de architectuur van alle praktisch bruikbare computers (von Neumann architectuur) nog steeds aan het Turing-concept beantwoordt. En bovendien is het nog zeer de vraag, of de op dit moment voorzienbare innovaties, zoals kwantumcomputers, verandering zullen brengen in deze stand van zaken, (Turner & Eden, 2011, p. 23).

Naar mijn oordeel is een belangrijk deel van Newman en Nagels *Concluding Reflections* niet weerlegd door Hofstadters kritiek. Wanneer Church en Turing al aantoonde dat er binnen een calculus vele opgaven geformuleerd kunnen worden die niet-computable zijn (naast de vele andere opgaven die wel computable zijn), hoe kan Hofstadter dan

beweren dat het vinden van een aantal opgaven op wiskundig-heuristisch gebied die computable zijn, aannemelijk maakt dat *alle* opgaven op wiskundig-heuristisch gebied computable zijn?

De ontwikkeling van wiskunde laat zien dat axiomatische of andere geformaliseerde systemen (zoals de 'Artificial Mathematician') pas tot stand komen wanneer er eerst creatieve mathematiëci of programmeurs zijn, die mogelijkheden zien om een inhoudelijk aspect van werkelijkheid (zoals mathematische heuristiek) te formaliseren. Bestaande geformaliseerde systemen, in de vorm van een wiskundig systeem of programmatuur, reflecteren steeds een momentane stand van formalisering. Wanneer deze formalisering problemen oplevert, bijvoorbeeld in de vorm van stellingen die niet bewijsbaar zijn of vraagstukken die niet berekenbaar zijn, dan blijkt steeds weer dat mathematiëci niet bij een momentane stand van zaken hoeven te blijven staan, maar altijd kunnen ontsnappen naar andere denkwijzen, en vanuit nieuwe perspectieven nieuwe benaderingen kunnen ontdekken. Ook die nieuwe benaderingen zullen (deels) weer formalisering toelaten, en zodoende zal er nooit een definitieve stand van zaken opgemaakt kunnen worden.

Deze conclusies impliceren zowel de verwachting dat steeds zal blijken dat de mogelijkheden van formalisering niet beperkt zijn tot een momentane stand van zaken, als de verwachting dat steeds zal blijken dat ook het bovenstaande 'ontsnappen' en 'innovatieve ontdekken' door mathematiëci en andere creatieve geesten onuitputtelijk is. Het bedrijven van wiskunde zal nooit volledig herleid kunnen worden tot het volgen van formele procedures waar letterlijk 'geen kunst meer aan is'.

Ondanks mijn laatste conclusie blijft er toch een vraag openstaan. De vraag, waarom een opvatting, die mij op grond van bovenstaande niet plausibel lijkt, toch zoveel aanhang kan krijgen. Want, het gegeven blijft dat Hofstadter een opvatting van kunstmatige intelligentie vertegenwoordigt die nog steeds door velen wordt gedeeld. De opvatting, dat intelligent functioneren uiteindelijk *gereduceerd* (herleid) kan worden tot het functioneren van materiële systemen die in principe technisch maakbaar zijn. De vraag die dit oproept formuleer ik nu als volgt:

Hoe is het mogelijk, dat een theorie,

- *die begint bij een mens wiens gedrag drastisch is ingeperkt tot blinde gehoorzaamheid, tot alleen potlood en papier, en tot geen inzicht of vernuft,*
- *en die vervolgens beschrijft dat aan de 'domheid' van die gehoorzame uitvoerder extern ontwikkelde 'slimheid' in handen wordt gegeven, in de vorm van betekenisloze symbolen en geformaliseerde, blind uitvoerbare, instructies,*
- *en die daarna aanneemt dat een specifieke categorie van machines precies het gedrag vertoont dat uit bovenstaande combinatie van domheid en geïmplanteerde slimheid resulteert,*

uiteindelijk als gevolg heeft dat velen⁶¹ tot de overtuiging komen dat dergelijke eigenaardige machines in essentie over het potentieel beschikken om het gedrag te verklaren en te reproduceren, dat wij bij onszelf en bij anderen ervaren als voortkomend uit een intelligente 'mind'?

Om op deze vraag in te gaan zal ik in de volgende paragraaf het dispuut over kunstmatige intelligentie schetsen dat al in de 40er jaren van de vorige eeuw begon. In de 80er jaren werd dit dispuut geïntensiveerd door publicaties van John Searle, wiens bijdrage bekend staat als *The Chinese Room Argument* (Cole, 2013).

2 JOHN SEARLE EN DE CHINESE KAMER

Om de bijdrage van Searle in de goede context te plaatsen zal ik nu eerst een korte schets geven van de opvattingen over Artificial Intelligence waar zijn kritiek op gericht was.

2.a De hoge verwachtingen van Artificial Intelligence

Turing behoorde zelf tot de eersten die uitdrukking gaven aan hoge verwachtingen omtrent de prestaties die computers (in de toekomst) kunnen leveren. In *Intelligent Machinery* (1948) publiceerde hij al een voorloper van een schaakprogramma. Om aan te tonen dat het mogelijk was om computers te laten schaken schreef hij dit programma voor een 'blind gehoorzamende uitvoerder in een isoleercel', zoals ik hierboven op pagina 133 beschreef. Omstanders zouden aan het ingangsluikje een 'zet' kunnen opgeven, en aan het uitgangsluikje zou een 'tegenzet' te voorschijn komen. Turing schreef een papieren handboek, aan de hand waarvan een 'gehoorzame uitvoerder', die zelfs niet zou weten dat de input en de output zetten in een schaakspel voorstellen, toch de input zodanig zou omzetten in output, dat de omstanders zouden oordelen dat daarbinnen iemand aan het werk was die kon schaken. Turing noemde deze machine een 'Paper Machine'. Met deze 'papieren oefening' wilde hij aantonen dat het in principe mogelijk was om computers te laten schaken (Cole, 2013, p. 5).

Deze, en dergelijke, gedachtegangen en experimenten brachten Turing steeds meer tot de overtuiging dat het verschil in intelligentie tussen mensen en computers slechts van graduele aard was, en dat computers op den duur in staat zouden zijn tot alle soorten van intelligent functioneren die kenmerkend zijn voor mensen. Turing beseftte dat het daarbij één van de moeilijkste opgaven zou zijn om computers net zo intelligent te laten converseren als mensen. Daarom bedacht hij in 1950 een test, die men in de toekomst zou kunnen gebruiken om te toetsen of deze opgave al gerealiseerd zou zijn. Deze

⁶¹ Nota bene, inclusief Turing zelf, als één der eersten (Copeland, 2013a, 2013b).

test werd later de 'Turing test' genoemd. De test bestaat uit een opstelling waarbij een proefpersoon online kan converseren met twee onzichtbare partners. De ene partner is een computer en de andere is een mens. Na een bepaalde tijd wordt aan de proefpersoon gevraagd om te beoordelen welke van zijn conversatie-partners een computer was en welke een mens. Deze test moet uiteraard een aantal keren herhaald worden met verschillende proefpersonen en met verschillende 'controle-partners'. Wanneer er dan ooit een computersysteem ontwikkeld zal zijn, waarbij deze test als resultaat heeft dat er statistisch geen significant verschil meer te ontdekken is tussen mens en computer, dan zal de ontwikkeling van computers ongeveer het stadium bereikt hebben van gelijkwaardigheid aan menselijke intelligentie (Cole, 2013, p. 5; Copeland, 2013b, p. 5).

Deze verwachtingen motiveerden vele wetenschappers om zich in te zetten voor het bereiken van de door Turing genoemde doelen. Een belangrijk deel van deze wetenschappers ging bovendien uit van de hypothese, die ook al door Turing was geformuleerd (Copeland, 2013a), dat de wijze waarop een brein en een computer informatie verwerken niet wezenlijk verschillend is. Computersystemen die menselijke taken uitvoeren kunnen daarom een correcte benadering van de werking van het brein bieden, en verschaffen zodoende fundamentele verklaringen van de werking van de menselijke geest⁶². Searle benoemt deze opvatting als '*strong AI*'. Daarnaast onderscheidt hij '*weak- or cautious AI*' waarbij de computer slechts opgevat wordt als nuttig een krachtig hulpmiddel, maar niet als principieel vergelijkbaar met en gelijkwaardig aan menselijke intelligentie. De kritiek van Searle is gericht op deze opvatting van '*strong AI*' (1980, p. 417).

In 1980, het jaar waarin Searle het artikel publiceerde dat een hevige storm van reacties opriep, waren er een aantal computerprogramma's ontwikkeld die, zij het elk op een beperkt gebied, al tamelijk 'levensecht' met proefpersonen konden communiceren. Searle neemt van deze programma's in het bijzonder Roger Shanks programma onder de loep. Dit programma stelt een computer in staat om vragen te beantwoorden over een verhaal dat eerder in het systeem is ingevoerd. Het computersysteem kan elementen uit het ingevoerde verhaal zodanig met elkaar in verband brengen, dat het gevolgen kan afleiden en in zijn antwoorden verwerken, die in het verhaal zelf nog niet genoemd zijn⁶³. De voorstanders van strong AI stellen nu dat van deze machine gezegd kan worden dat hij het verhaal 'begrijpt', en dat ook hij een (soort van) 'mind' *is*, met net zoveel recht als

⁶² De door mij eerder genoemde Hofstadter en Johnson-Laird (pagina 158) vertegenwoordigen deze opvatting van AI.

⁶³ Searle (1980, p. 417) noemt als voorbeeld het volgende verhaal: "Een man komt in een restaurant en bestelt een hamburger. Als de hamburger geleverd wordt blijkt deze zwart verbrand te zijn. De man wordt kwaad en stormt naar buiten zonder voor de hamburger te betalen of een fooi achter te laten." Bij dit verhaal kan men de vraag stellen: "Heeft de man de hamburger opgegeten?". Het programma van Shank stelt de computer in staat om net als een mens te antwoorden: "Nee, dat deed hij niet."

dit van een mens gezegd kan worden. Daarom verklaren dergelijke programma's in belangrijke mate hoe ook bij mensen 'het begrijpen van een verhaal' tot stand komt (1980, p. 417). Het is tegen deze claims dat Searle in zijn artikel ten strijde trekt.

2.b Achtergrond en uitgangspunt

Om een discussie te kunnen voeren over de vraag, of een geprogrammeerde computer een soort van 'mind' kan realiseren, moet allereerst bepaald worden wat onder 'mind' verstaan zal worden. Voor deze bepaling had Searle zich in eerdere publicaties al aangesloten bij de karakterisering van de menselijke geest, zoals Brentano die aan het einde van de 19^e eeuw formuleerde (Cole, 2013, p. 37), en die daarna van grote invloed is geweest. Volgens deze benadering zijn 'Akten', ofwel 'Erlebnisse', de elementaire bouwstenen van de menselijke geest⁶⁴, en wordt iedere 'Akt', of 'Erlebnis'⁶⁵, gekenmerkt door *inhoudelijk gerichte betrokkenheid*. De tweevoudigheid van inhoudelijke gerichtheid *en* betrokkenheid blijkt uit:

1. Een 'inhoud' of 'object' waar de geest op gericht is. Brentano formuleerde in 1874: "In der Vorstellung ist etwas vorgestellt, in dem Urteile ist etwas anerkannt oder verworfen, in der Liebe geliebt, in dem Hasse gehaßt, in dem Begehren begehrt usw" (Brentano, 1924, p. 125).
2. De specifieke betrokkenheid die met name in het 'werkwoordelijke' van een act tot uitdrukking komt (voorstellen, beoordelen, liefhebben, haten, begeren, ...).

De term die Brentano voor deze typerende tweevoudigheid van inhoudelijke gerichtheid + betrokkenheid heeft geïntroduceerd is '*intentionaliteit*'⁶⁶. Met behulp van deze term kan men de stelling poneren: *dat iedere beleving, en de menselijke geest als geheel van belevingen, gekenmerkt is door intentionaliteit*. Bij Searle is dit begrip te her-

⁶⁴ 'Menselijke geest' lijkt mij in dit verband het meest geschikt als vertaling van het Engelse 'mind'. In de Duitse teksten wordt hiervoor ook wel de term 'Bewußtsein' gebruikt. Maar, 'menselijke geest' lijkt mij beter geschikt dan 'bewustzijn' omdat de beschouwingen van Brentano, Husserl, en latere fenomenologen in het algemeen betrekking hebben op het *geheel* van mentale processen. Het geheel, dat meer inhoudt dan alleen die processen die op een bepaald moment in de lichtkring van het bewustzijn vallen.

⁶⁵ Husserl gebruikt de termen '*Erlebnis*' of '*intentionales Erlebnis*' als gelijkwaardig aan de term 'Akt' (2002, p. 64). In het Nederlands vertaal ik deze termen daarom afwisselend als 'act' of als 'beleving'.

⁶⁶ Dit begrip 'intentionaliteit' moet niet verward worden met de betekenissen die de termen 'intentie' en 'intentioneel' in het dagelijkse spraakgebruik hebben, waarbij het gaat om het kenmerk dat een uiting of een handeling een doel of bedoeling op het oog heeft. Voor een uitvoeriger en meer genuanceerde behandeling van het hier bedoelde psychologisch-filosofische begrip 'intentionaliteit', en de ontwikkeling daarvan bij Brentano en Husserl, verwijs ik graag naar Theo de Boer (1966).

kennen in zijn gebruik van de termen 'intentionality' en '*intentional states*'⁶⁷ (Searle, 1980, 1982). Uit dit laatste begrip blijkt dat hij de 'mind' opvat als een systeem dat gekenmerkt wordt door processen waarbij verschillende '*intentionele toestanden*' elkaar in de loop van de tijd opvolgen. Als synoniem voor intentionaliteit gebruiken Searle en zijn discussiepartners ook wel de term '*aboutness*' (Cole, 2013; Searle, 1980).

Tegen deze achtergrond moet Searle's taaltheorie begrepen worden. Wanneer de ene mens een taaluiting van een ander mens 'verstaat' of 'begrijpt', dan vat hij die op als uiting van intentionaliteit. Dat wil zeggen, hij 'leest' of 'hoort' in die taaluiting de bovengenoemde tweevoudigheid van 'inhoud' en 'actieve betrokkenheid'. Searle noemt de intentionaliteit van taal 'afgeleide intentionaliteit' omdat deze intentionaliteit niet direct aanwezig is in fysieke klanken of symbolen, maar daarin uitgedrukt is door de zender, en daaruit weer afgeleid wordt door een ontvanger, die dergelijke klanken of symbolen als 'taal' interpreteert. Deze afgeleide intentionaliteit impliceert dat een taaluiting altijd gekenmerkt wordt door 'aboutness' (het gaat *over* ...), inclusief een bepaalde vorm van betrokkenheid op datgene waar het over gaat. Zo gezien hangt met name de semantische dimensie van taal nauw samen met deze afgeleide intentionaliteit. Deze intentionaliteit wordt zowel 'afgelezen' uit de termen waarmee een taaluiting naar inhouden buiten zichzelf verwijst, als uit de termen (zoals werkwoorden en adjectieven) waarmee taaluitingen verwijzen naar de aard van de betrokkenheid op die taalexterne inhouden. De syntactische dimensie van taal, als het taalinterne geheel van regels en afspraken voor taalvorming, is betrekkelijk onafhankelijk van de semantische dimensie, omdat deze taalinterne regels en afspraken grotendeels onafhankelijk zijn (en in formele taal helemaal onafhankelijk te maken zijn) van taalexterne verwijzingen en betrokkenheden (Cole, 2013, pp. 29-37).

Het verstaan van taal vooronderstelt dat het ontvangende systeem '*intentional states*' kan herkennen door een vorm van 'interpreterende reproductie' bij zichzelf. En daarom moeten zowel de zender als de ontvanger van taal mentale, ofwel intentionele systemen zijn. Wanneer een computer, die voorzien is van een conversatieprogramma zoals in Shanks onderzoek, werkelijk een verhaal zou begrijpen, dan zou een dergelijk computersysteem dus ook de kenmerken van 'intentionality' of '*cognitive states*' moeten vertonen. Wanneer dit het geval zou zijn, dan zou een dergelijk computersysteem inderdaad een (eventueel primitieve) 'soort van mind' vertegenwoordigen. De cruciale vraag is dus, of een computer in principe, via een vernuftig programma, de kenmerken van intentionaliteit kan verkrijgen (Searle, 1980, 1982).

Tegen de achtergrond van het bovenstaande begint Searle zijn beroemde en omstreden artikel (1980, p. 417) met twee beweringen:

⁶⁷ Als synoniem voor '*intentional states*' gebruikt Searle ook regelmatig de uitdrukking '*cognitive states*'.

1. *"Intentionality in human beings (and animals) is a product of causal features of the brain. I assume that this is an empirical fact about the actual causal relations between mental processes and brains. It says simply that certain brain processes are sufficient for intentionality"*.
2. *"Instantiating a computer program is never by itself a sufficient condition of intentionality"*.

Uit deze formulering, en uit het vervolg van het artikel, blijkt dat de eerste bewering voor hem het karakter heeft van een aanname, die zonder verdere argumentatie als uitgangspunt voor de discussie genomen kan worden. De tweede bewering is de stelling die hij wil verdedigen tegenover de aanhangers van 'strong AI'. En voorts wil hij de logische consequenties van de combinatie van beide beweringen onderzoeken.

2.c De Chinese kamer

Op welke manier kunnen we nu toetsen of een computer, die volgens het model van de UTM georganiseerd is, over de juiste configuratie beschikt om een 'soort van mind' te realiseren? Searle constateert dat er een mogelijkheid is om een dergelijke toets uit te voeren, door onszelf in gedachten in de positie te plaatsen van een automatisch calculerende mens (1980, p. 417) in een isoleercel⁶⁸. Volgens de oorspronkelijke metafoor waarop de stelling van Church en Turing berust (pagina 154), en volgens het gedachten-experiment met de 'Paper-machine' van Turing (pagina 161), is een dergelijke 'menselijke computer' immers te zien als gelijkwaardig aan een machinale computer. Wanneer die menselijke computer dan voorzien wordt van een programma zoals Shank ontwikkelde, *zijn dan daarmee de voorwaarden vervuld dat die 'automatisch opererende mens' de afgeleide intentionaliteit van een verhaal gaat begrijpen, en zelf intentionaliteit gaat vertonen?*

Stel je voor dat ik opgesloten ben in een geïsoleerde kamer, ergens in China, waarbij communicatie met de buitenwereld alleen mogelijk is via een ingangsluikje en een uitgangsluikje⁶⁹. Stel dat ik zó onbekend ben met de Chinese taal, in gesproken of geschreven vorm, dat ik Chinese karakters zelfs niet kan onderscheiden van Japanse of Koreaanse. Voor mij zijn dergelijke schrijfsels niet meer dan betekenisloze krabbels. Stel dat in deze kamer ook bibliotheken aanwezig zijn met allerlei combinaties van 'krabbels', en stel dat er ook in het Engels (een taal die ik wel begrijp) geschreven handleidingen aanwezig zijn die mij precies voorschrijven hoe ik (delen van) een ingediende combinatie van krabbels in een bibliotheek kan vinden, en hoe ik in een bibliotheek andere combinaties van krabbels kan vinden die ik, in reactie op ingediende krabbels, door het uitgangsluikje naar buiten kan schuiven.

⁶⁸ Gemakshalve gebruik ik hier de uitdrukking die ik zelf geïntroduceerd heb op pagina 133.

⁶⁹ In het onderstaande volg ik in grote lijnen, en soms in eigen woorden, de oorspronkelijke beschrijving van Searle (1980, pp. 417-418).

Tijdens mijn verblijf in die kamer worden er zowel Chinese krabbels ingevoerd, waarop ik met gebruikmaking van bibliotheken en handleidingen reageer, als ook verhaaltjes in het Engels, met vragen erbij die ik begrijp omdat ik Engels begrijp. Op deze laatste vragen geef ik zo goed mogelijk antwoord zonder van enige handleiding gebruik te hoeven maken.

Het is denkbaar dat ik op den duur zo goed ben om precies de instructies te volgen, en dat de 'programmeurs' op den duur zo goed zijn in het voorzien van goede bibliotheken en juiste instructies, dat voor de buitenstaanders mijn reacties op Chinese verhalen en vragen net zo goed zijn als mijn reacties op Engelse verhalen en vragen⁷⁰. Maar, in het geval van de Chinese verhalen en vragen functioneer ik als een computer, die bij zijn operaties zuiver en alleen afgaat op formele kenmerken van symbolen en instructies, zonder gebruikmaking van enig besef van semantische betekenis. In het Engelse geval functioneer ik als een 'normaal' intentioneel systeem.

De claims van 'strong AI' houden in, dat de geprogrammeerde computer ook de Chinese verhalen begrijpt, en dat het programma in belangrijke mate verklaart hoe ook bij mensen 'het begrijpen van een verhaal' tot stand komt.

Wat betreft de eerste claim maakt de bovenstaande toets duidelijk dat ik, functionerend als computer, nog steeds helemaal niets van de Chinese verhalen begrijp, ook al zijn mijn Chinese outputs voor de buitenstaanders net zo adequaat als mijn Engelse outputs. En, een machinale computer beschikt over niets meer dan waarover ik in het gedachten-experiment beschik. Daarom is er geen enkele grond voor de stelling dat een volgens Shank geprogrammeerde computer de Chinese verhalen begrijpt.

Wat betreft de tweede claim kunnen we om te beginnen stellen dat een programma het begrip van een verhaal niet verklaart, omdat er van enig begrip nog geen sprake is. De verdedigers van 'strong AI' kunnen hiertegen aanvoeren dat het programma wel een onmisbare *voorwaarde* voor begrip gerealiseerd kan hebben. Zij gaan er immers van uit dat 'begrip' wel degelijk berust op formele symbool-manipulaties. Het verschil tussen het Engelse en het Chinese voorbeeld zou dan moeten berusten op nog meer en nog vernuftiger symbool-manipulaties in het Engelse geval. Misschien biedt Shanks programma niet de hele verklaring, maar toch een deel van de verklaring. In reactie hierop constateert Searle dat hij weliswaar de onjuistheid van dit verweer niet sluitend kan bewijzen, maar dat er aan de andere kant geen enkele aanleiding is om er geloof aan te hechten. In het Chinese geval beschik ik over alles wat AI mij kan bieden, en nog begrijp ik niets. In het Engelse geval begrijp ik alles, zonder dat er ook maar enige aanleiding is om te veronderstellen dat mijn begrip iets te maken heeft met formele operaties op zuiver formeel gespecificeerde elementen (1980, p. 418).

Volgens Searle is een verklaring die recht doet aan het blijvende verschil tussen beide situaties veel aannemelijker. Het verschil blijft, dat ik mij in het Chinese geval geen

⁷⁰ Hier refereert Searle duidelijk aan de Turing test (pagina 162).

begrip kan vormen van de externe referenties van de tekens waarmee ik opereer (de semantiek), terwijl mijn reacties op de Engelse input nu juist op dát begrip gebaseerd zijn. Het taalbegrip van een mens is gebaseerd op kennis van syntaxis én semantiek, terwijl de informatieverwerking door een computer alleen gebaseerd is op formele kenmerken van symbolen en syntactische regels die daarop aangrijpen. De meest aannemelijke verklaring voor het blijvende verschil in begrip tussen beide situaties is, *dat het voorzien in syntactische elementen niet leidt tot het verbinden van woorden met betekenissen, ofwel tot semantiek* (Cole, 2013, pp. 29-30).

2.d Conclusie

Op grond van zijn argumentatie komt Searle tot een conclusie die veel verder reikt dan alleen de conversatieprogramma's, waarvan Shanks programma een voorbeeld is. Een kernachtige formulering van zijn conclusie luidt: "*Instantiating a formal computer program, even the right program with the right input en output, is not by itself constitutive of intentional states because no formal program by itself has any intentional content*" (1982, p. 345).

Met andere woorden: er blijft een onoverbrugbaar verschil bestaan tussen enerzijds alle vormen van kunstmatige intelligentie die op de principes van de Universele Turing Machine gebaseerd zijn, en anderzijds de intelligentie die een brein realiseert. Dit fundamentele verschil berust op het kenmerk 'intentionaliteit' (ofwel 'aboutness'), dat onmogelijk door een zuiver formeel programma gerealiseerd kan worden. De claims van 'strong AI' zijn dus onhoudbaar.

Cole (2013, p. 30) vat de argumentatie langs welke Searle tot deze conclusie komt als volgt samen:

1. Programma's zijn zuiver formeel (syntactisch).
2. Een 'mind' is wezenlijk op intentionele inhoud gericht (semantiek).
3. Syntaxis alleen kan niet de voorwaarden realiseren die nodig en voldoende zijn voor het realiseren van semantische inhoudelijkheid.
4. Daarom kan geen enkel programma de voorwaarden realiseren die nodig en voldoende zijn om 'mind' te doen ontstaan.

De eerste drie fasen van deze argumentatie functioneren als de premissen waarop de uiteindelijke conclusie (4) gebaseerd is. In deze lijn van argumentatie dient het gedachtenexperiment van de Chinese kamer als onderbouwing van de derde premisse.

Maar, als er zo'n onoverbrugbaar verschil bestaat tussen 'natuurlijke' en 'kunstmatige' intelligentie, waar komt dan de algemeen voorkomende neiging vandaan om in dagelijkse taal kenmerken zoals 'intentionaliteit' en 'begrip' toe te schrijven aan machines? Over een automatische deur zeggen we bijvoorbeeld "door zijn foto-elektrische cel weet de deur wanneer hij open moet gaan", over een telmachine zeggen we "hij weet hoe hij moet optellen en aftrekken, maar vermenigvuldigen en delen dat kan hij niet", of over

een thermostaat zeggen we "hij neemt een temperatuurverandering waar", et cetera (1980, p. 419). Over de attributies van intentionaliteit of intelligentie die uit dergelijke zegswijzen spreken stelt Searle, dat deze een *metaforisch* karakter hebben. Dat wij over apparaten spreken in dezelfde termen als over onszelf is te begrijpen, omdat wij apparaten gebruiken als verlengstuk van onszelf en onze eigen intentionaliteit (1980, p. 419). Het attribueren van intentionaliteit aan apparaten kan ook dezelfde achtergrond hebben als het attribueren van intentionaliteit aan teksten. We kunnen de intentionaliteit van een achterliggende 'auteur' toeschrijven aan een apparaat (de automatische slagboom van een parkeergarage "wil mijn ticket zien"⁷¹) net zoals we intentionaliteit toeschrijven aan een geschreven tekst. Maar, in beide gevallen is deze intentionaliteit niet intrinsiek maar afgeleid (1982, p. 345).

Strikt genomen kunnen we van een rekenmachine niet zeggen dat hij rekt, evenmin als we van een slagboom kunnen zeggen dat hij iets wil. Strict genomen zou ik moeten zeggen "**ik** reken met gebruikmaking van een rekenmachine" en "via de slagboom maakt **de beheerder** van de parkeergarage mij duidelijk dat hij wil controleren of ik een parkeerticket heb betaald". Volgens Searle is er geen enkele reden waarom ditzelfde niet ook voor computers en robots zou gelden (Cole, 2013, p. 39). Wanneer ik mijn computer als spellingchecker gebruik, dan moet ik strikt genomen niet zeggen "mijn computer heeft de spelling gecheckt", maar "**ik** heb de spelling gecontroleerd met gebruikmaking van een computer"⁷².

Wanneer wij aan een geprogrammeerde computer of robot dezelfde metaforische of afgeleide intentionaliteit toeschrijven als aan een telmachine, een slagboom, een thermostaat, of een auto, dan heeft Searle daartegen geen enkel bezwaar (1980, p. 419). Zijn bezwaren zijn gericht tegen de verwarring die gesticht wordt wanneer de afgeleide of metaforische intentionaliteit van apparaten gelijkgesteld wordt aan de 'intrinsieke intentionaliteit' die voornamelijk voorbehouden is aan biologische configuraties, zoals het brein. Het is zijn stelling dat er welbeschouwd geen enkele grond is om een uitzondering te maken voor geprogrammeerde computers of robots, en aan deze apparaten wél intrinsieke 'intelligentie' en 'intentionaliteit' toe te schrijven (Cole, 2013, p. 44; Fotion, 2013).

2.e Het dispuut

De reacties op Searle's eerste publicatie (1980) waren ongekend in aantal en hevigheid. Vooral voorstanders van 'Computational Theory of Mind' en van 'Cognitive Science' rea-

⁷¹ Omdat ik bij Searle niet een expliciet voorbeeld bij deze verklaring vond heb ik hier een eigen voorbeeld gebruikt.

⁷² Of, nog completer: "ik heb met behulp van een computer de spelling gecontroleerd volgens de spelregels die de programmeurs van ... in mijn software hebben ingebouwd".

geerden met felle reacties op Searle's aanval. In zijn eerste reactie constateert hij dan ook: "The Chinese room argument has obviously struck a nerve" (1982, p. 345).

En, deze discussie kreeg ook een uitzonderlijk lange duur. Na elf jaar, in 1991, definieerde Pat Hayes 'Cognitive Science' nog "as the ongoing research project of refuting Searle's argument" (Cole, 2013, p. 3). In het midden van de 90er jaren omvatte het dispuut al meer dan 100 artikelen, en gingen ook de internet-discussies nog onverminderd door (Cole, 2013, pp. 3-4). Ook Searle bleef zich mengen in het dispuut, onder andere met het boek *Minds, Brains and Science* (1984) en met artikelen tot in 2002 (Cole, 2013, pp. 49-50). In zijn overzichtsartikel constateert Cole (2013, p. 3): "the Chinese Room argument has probably been the most widely discussed philosophical argument in cognitive science to appear in the past 25 years"⁷³.

Het voert veel te ver om in deze studie in te gaan op alle argumenten die in dit dispuut over en weer aangevoerd werden. Daarom zal ik mij hier beperken tot enkele algemene kenmerken van de discussie, en enkele voorbeelden⁷⁴:

- Een aantal tegenstanders van Searle geven hem voor een gedeelte gelijk, en voeren vervolgens aan dat hij belangrijke aspecten of mogelijkheden negeert. Daarom gaan zijn conclusies volgens hen toch niet op.
 - + In het geval van de 'Systems Reply' voert men bijvoorbeeld aan dat de 'uitvoerder' in de Chinese kamer slechts te vergelijken is met de centrale processor in een computer. Searle kan gelijk hebben met zijn stelling dat deze 'processor' geen Chinees begrijpt, maar het wordt anders wanneer men het gehele systeem beschouwt, waar de hardware maar een deel van uitmaakt. Waarom zou men niet van dit systeem als geheel kunnen stellen dat het Chinees begrijpt? Searle reageert daarop weer met het argument dat men zich kan voorstellen dat deze 'uitvoerder' alle bibliotheken en instructies uit het hoofd geleerd heeft. Dan heeft hij alles in zich wat het hele systeem heeft, maar dan zou hij nog steeds geen Chinees verstaan (Cole, 2013, pp. 11-14).
 - + In het geval van de 'Robot Reply' voert men aan dat Searle gelijk zou kunnen hebben voor een gewoon computersysteem, maar dat het anders wordt wanneer dit systeem deel zou uitmaken van een robot met allerlei sensoren die hem informatie over de buitenwereld verschaffen, zodat hij de 'aboutness' van de Chinese leefwereld kan gaan begrijpen. Searle reageert daarop met het argument dat dit voor zijn Chinese kamer zou betekenen dat er in die kamer ook apparaten staan die enorme hoeveelheden nullen en enen zouden produceren. Het probleem blijft dat de 'uitvoerder', ook al beschikt hij over instructies om op grond van formele kenmerken operaties op deze symbolen toe te passen, ook

⁷³ Vermoedelijk stamt deze zin nog uit de eerste versie van dit artikel, d.d. 2004.

⁷⁴ Voor een uitvoeriger overzicht verwijst ik graag naar het hier reeds vaak genoemde overzichtsartikel van Cole (2013).

niet achter de betekenis van de rijen nullen en enen zal komen, en zeker niet via de nullen en enen achter de betekenis van de Chinese 'krabbels' (Cole, 2013, pp. 17-21).

- + Weer anderen voeren aan (the Brain Simulator Reply) dat Searle's argumentatie wellicht opgaat voor traditionele computerprogramma's, maar dat er nu een nieuwe generatie programma's ontwikkeld wordt, die gebaseerd is op het simuleren van neurale netwerken. Omdat deze programma's de functionaliteit van het brein nauwkeurig simuleren, is de mogelijkheid niet ondenkbaar dat deze programma's op den duur wél echte intentionaliteit ontwikkelen (Cole, 2013, pp. 21-24)⁷⁵.
- In een andere reactie geven opponenten Searle gelijk met zijn stelling, dat er uit zuivere syntaxis nooit semantiek kan voortkomen. Maar, deze opponenten voeren vervolgens aan dat dit argument weliswaar opgaat voor zuivere logica of wiskunde, maar niet voor een materieel computersysteem. De werking daarvan is, naast zijn logische organisatie, gebaseerd op fysische causaliteit. Omdat deze fysische causaliteit wellicht een elementair ingrediënt van 'aboutness' representeert, is het denkbaar dat computersystemen of robots, bij een adequate organisatie, een vorm van 'intrinsieke aboutness' gaan vertonen (Cole, 2013, pp. 31-36)⁷⁶.
- Anderen kritiseren Searle's opvatting van intentionaliteit. Het is verwarrend dat hij enerzijds stelt, dat het een empirisch feit is dat intentionele toestanden veroorzaakt worden door het brein (Searle, 1982, p. 345), terwijl hij anderzijds geen andere mogelijkheid ziet om deze intentionaliteit waar te nemen dan via introspectie (door bij mijzelf innerlijk waar te nemen dat er inhoudelijk begrip ontstaat)⁷⁷. Wat is dat voor een merkwaardig 'afscheidingsproduct' van het brein, dat niet empirisch door externe waarnemers waargenomen kan worden, maar dat alleen toegankelijk is via introspectie? Gardiner stelt dat Searle een meer precieze verklaring van intentionaliteit moet geven dan hij tot dusver gedaan heeft, en dat het bij gebrek daaraan een open kwestie is of AI een dergelijk 'afscheidingsproduct' kan opleveren of niet. Deze vaagheid maakt het volgens Gardiner mogelijk dat het dispuut tussen Searle en zijn opponenten eerder het karakter krijgt van een (quasi?) religieus, dan van een wetenschappelijk dispuut (Cole, 2013, pp. 39-40).
- Tenslotte concludeert Cole dat het 'Chinese Room Argument' serieuze problemen van onze opvattingen van 'betekenis' en 'psyche' in de schijnwerper heeft gezet. De

⁷⁵ Zie hierna, pagina 173-176, voor Copelands bespreking van deze ontwikkelingen ('neuronlike computing' en 'nouvelle AI'), waarbij hij tot de conclusie komt dat de intelligentie van levende organismen nog steeds ontsnapt aan deze benaderingen.

⁷⁶ Zie hierna, pagina 179, voor mijn kritische bespreking van De Mul's aanname dat semantische machines kunnen emergeren uit syntactische machines.

⁷⁷ Searle benoemt dit innerlijke waarnemen zelf als "my principle of always considering the first person case" (Searle, 1982, p. 346).

vele kwesties die het dispuut heeft opgeroepen zullen niet beslecht worden zolang er geen consensus is over de aard van 'betekenis', zijn relatie tot 'syntaxis', en de aard van 'bewustzijn'. Vooral nog blijft er onenigheid bestaan over al deze kwesties (Cole, 2013, p. 45).

3 ARTIFICIAL INTELLIGENCE, VERWACHTINGEN, RISICO'S, NIEUW REDUCTIONISME?

Na meer dan 30 jaar is de discussie rond Searle's metafoor van de Chinese kamer wel geluwd. Maar, discussies over de mogelijkheden en beperkingen van AI zijn gebleven. Het ziet er naar uit dat veel AI-onderzoekers graag beginnen bij de aanname dat 'natuurlijke-' of 'biologische intelligentie' (BI) grotendeels gereduceerd kan worden tot technisch maakbare AI. Enerzijds is er wellicht ook veel voor te zeggen om eerst maar eens te zien hoever men met een reductie kan komen. De geschiedenis laat zien dat een dergelijke houding motiveert tot ontwikkelingen die veel kennis en nuttige toepassingen opleveren, en die ook –voor wie daar oog voor heeft- vanzelf uitkomen bij de grenzen van reduceerbaarheid. Anderzijds lijkt het mij van groot belang om die grenzen te leren inschatten en te leren respecteren. In deel I (hoofdstuk 3, § 3) heb ik uiteengezet om welke redenen het vermijden van reductionisme vanuit een bepaalde levensbeschouwerlijk-pedagogische stellingname belangrijk is.

In de nu volgende sub-paragraaf zal ik het betoog samenvatten van Jack Copeland (2013b)⁷⁸ die, in een overzichtsartikel over de ontwikkeling van AI, tot de conclusie komt dat de pretenties van 'strong AI' niet waar gemaakt worden, en dat de feitelijke ontwikkelingen veeleer bevestigen dat biologische intelligentie (BI) en menselijke intelligentie (HI) fundamenteel van AI verschillen. Met dit betoog komt hij in feite uit bij de positie die Searle beschreef als '*weak- or cautious AI*' (pagina 162), waarbij kunstmatige intelligentie beschouwd wordt als nuttig en krachtig hulpmiddel, dat in essentieel opzicht verschilt van menselijke intelligentie.

3.a Verschillende, elkaar aanvullende intelligenties?

Zoals ik eerder al schreef ontwikkelde Turing zich tot één van eerste exponenten van de reductionistische aanname, dat een menselijk brein en zijn UTM qua werking niet wezenlijk verschillen (pagina 162). Als eerste stap in de richting van een bevestiging daarvan ontwikkelde hij zijn schakende 'Paper Machine' (pagina 161). Turing voorspelde al

⁷⁸ Omdat in de volgende sub-paragraaf op veel plaatsen naar het Britannica-artikel van Jack Copeland verwezen zal worden, zal daarbij het format (a.w., p ...) gebruikt worden. De paginanummers verwijzen naar de pagina waarop de betrokken passage te vinden is wanneer het online-artikel op A4-formaat wordt afgedrukt.

in 1945 dat computers ooit beter zouden kunnen schaken dan mensen, in de verwachting dat het moment waarop dat zou gebeuren een mijlpaal zou zijn in de richting van de bevestiging van zijn aanname. In 1997 kwam Turings voorspelling uit. Het IBM-computersysteem 'Deep Blue' versloeg de heersende wereldkampioen schaken, Gary Kasparov, in een wedstrijd van zes partijen. Maar, de wijze waarop dit succes bereikt werd leverde allerminst een bevestiging op van Turings aanname. De IBM-ingenieurs hadden een supercomputer gebouwd die voorzien was van 256 parallele processoren⁷⁹, en die in staat was om per seconde 200 miljoen mogelijke zetten door te rekenen, en zodoende 14 zetten diep vooruit te kijken. De computer was in staat om het op schaakgebied van een mens te winnen door juist een werkwijze te hanteren die sterk verschilt van de werkwijze van een menselijke schaker. Copeland merkt op dat vele onderzoekers het met Noam Chomsky eens waren, dat op deze manier het verslaan van een schaak-grootmeester even interessant was als het winnen van een olympische medaille gewichtheffen door een bulldozer (a.w., p. 5). Anderzijds: als men afziet van de behoefte om een reductionistische aanname te bevestigen, en afziet van de pretenties van 'strong AI', markeerde de ontwikkeling van dergelijke supercomputers wel degelijk een vooruitgang in kennis, prestaties en toepassingsmogelijkheden van AI.

Een andere mijlpaal die door Turing in het vooruitzicht was gesteld, zou het moment zijn waarop een computersysteem met glans zou slagen voor zijn 'Turing test' (pagina 162). Hiervoor heb ik al beschreven waarom John Searle bij voorbaat aangaf dat hij zich door een dergelijke test niet zou laten overtuigen. In aanvulling op zijn argumenten is er door anderen op gewezen dat ook de systemen, die succesvol zijn om in de richting van deze mijlpaal te komen, (tot nu toe) kenmerken hebben die vergelijkbaar zijn met de eerder genoemde schaak-computers. Namelijk, dat zij hun succes realiseren door juist voor benaderingen te kiezen die fundamenteel verschillen van de manier waarop mensen te werk gaan. Een aantal conversatieprogramma's berusten bijvoorbeeld op het 'inblikken' van grote hoeveelheden voorgebakken zinnen, en op een aantal betrekkelijk eenvoudige regels voor het kiezen van een 'voorgebakken reactie' op een aangeboden input. Redelijkerwijs kan men aan dergelijke programma's niet een hoog niveau van intelligentie toeschrijven (a.w., p. 7). In het licht van de ambities van 'strong AI' hebben dergelijke programma's dus weinig betekenis. Anderzijds hebben dergelijke programma's wel de weg gebaad voor de ontwikkeling van 'expert-systemen'. Deze systemen zijn gebaseerd op twee basiscomponenten: een database waarin een zo compleet mogelijke verzameling van kennis op een bepaald gebied is 'ingeblikt', en een afleidingsmachine die een verzameling regels bevat met een als-dan karakter. Dergelijke systemen hebben ondertussen veel nuttige toepassingen gevonden, bijvoorbeeld op medisch gebied (diagnoses) en op vele andere gebieden van specialistische kennis (a.w., p. 8).

⁷⁹ Met 'processor' wordt in dit verband de centrale 'rekenchip' (ofwel CPU) bedoeld, die fysiek het elementaire rekenwerk van de computer uitvoert.

Een kritische opmerking, die bij dergelijke systemen gemaakt kan worden, houdt in dat hun intelligentie het karakter heeft van *'tweedehands intelligentie'*. De intelligentie van dergelijke AI-systemen berust geheel op de kennis en het vernuft die er via de software van buitenaf zijn ingebracht. Zij voegen daar uit zichzelf niets aan toe (a.w., p. 7). Maar, parallel aan deze ontwikkelingen werd al in de 50er jaren de ambitie geformuleerd om systemen te ontwikkelen die over leervermogen beschikken (a.w., p. 6).

Een interessante ontwikkeling, die van deze ambitie getuigt, wordt aangeduid als 'connectionisme' of 'neuronlike computing' (a.w., p. 9). De achterliggende gedachte houdt in, dat leerprocessen in biologische systemen verband houden met het principe dat frequent gebruikte verbindingen tussen neuronen worden versterkt, en dat ongebruikte verbindingen afzwakken. Vervolgens is het idee dat een neuron opgevat zou kunnen worden als een 'processor', en dat men dus lerende computersystemen kan ontwikkelen door uit te gaan van een groot aantal 'processors' die in een netwerk verbonden zijn. Men kan dit idee realiseren door het bouwen van systemen die fysiek over een groot aantal processoren beschikken, zoals een in 1985 gebouwde supercomputer die over 65536 processoren beschikte (a.w., p. 6). Tegenwoordig bouwt men systemen die, door middel van slimme software, gebruik maken van virtuele processoren, met aantallen in de orde van miljoenen of zelfs miljarden (Eliasmith et al., 2012). Geheel overeenkomstig het bovengenoemde inzicht in de werking van het brein berust het trainen van een 'neuraal netwerk' op aanpassing van de 'connection weights' tussen de kunstmatige neuronen. Het programma dat de training reguleert, de 'external agent', werkt in principe als volgt:

- Indien de werkelijke output van neuron N is 0, en de gewenste output is 1, verhoog dan het gewicht van iedere verbinding tussen de bij dat patroon vurende neuronen en N met een vast klein bedrag (zodat het bij een volgend aanbod van hetzelfde patroon waarschijnlijker wordt dat N zal vuren).
- Indien de werkelijke output van neuron N is 1, en de gewenste output is 0, verlaag dan het gewicht van iedere verbinding tussen de bij dat patroon vurende neuronen en N met een vast klein bedrag (zodat het bij een volgend aanbod van hetzelfde patroon waarschijnlijker wordt dat N niet zal vuren).

Na vele herhalingen zal er een verdeling van 'gewichten' over de connecties ontstaan die resulteert in steeds minder fouten (a.w., p. 9-11).

De op dit leerprincipe gebaseerde computerprogramma's zijn ondertussen steeds verder ontwikkeld en verfijnd, en op verschillende gebieden toepasbaar en succesvol. Men kan daarbij denken aan (a.w., p. 11):

- Visuele patroonherkenning, zoals gezichtsherkenning en het herkennen van allerlei andere soorten van objecten.
- Taal-omzettingen, zoals het omzetten van geschreven taal naar elektronische tekst, het omzetten van digitale tekst naar spraak, spraakherkenning, het vervoegen van werkwoorden, et cetera.

- Het herkennen van patronen in financiële gegevens, zodat bijvoorbeeld risico's ingeschat en faillissementen voorspeld kunnen worden.
- Het herkennen van verdachte patronen in röntgenfoto's of elektro-cardiogrammen.
- Et cetera.

De meest recente ontwikkeling die Copeland beschrijft heet 'nouvelle AI'. Het betreft een ontwikkeling die, net als de voorgaande, geïnspireerd is op inzichten in het functioneren van levende organismen. In dit geval probeert men echter niet om menselijke gedragingen te simuleren, zoals schaken of converseren, maar laat men zich inspireren door het eenvoudiger gedrag van bijvoorbeeld wormen of insecten. De uitgangspunten die men aan het 'intelligente gedrag' van deze eenvoudige levensvormen ontleent zijn (a.w., p. 11-12):

- Een complexe vorm van gedrag kan resulteren uit de interactie van een klein aantal eenvoudige gedragsvormen. Bijvoorbeeld: uit de combinatie van 'botsing-vermijding' en 'beweging naar een bewegend object' ontstaat 'stalking'.
- Voorzie het systeem niet van een gecompliceerd 'wereldmodel', maar laat het systeem informatie pas aflezen uit de reële wereld wanneer het die nodig heeft. Het gaat hier dus om robot-systemen die voorzien zijn van sensoren, en gebruik maken van fysieke interactie met tastbare objecten. Sleutelbegrippen zijn: 'situated approach' en 'embodied intelligence'.

Deze uitgangspunten laten zich uiteraard goed combineren met het bovengenoemde 'neuronlike computing'. Succesvolle voorbeelden van deze benadering vormen onder andere de robots die resulteerden uit het 'Mars Rover Research Project', en die nog steeds de planeet Mars voor ons verkennen (a.w., p. 12).

Neuronlike computing en nouvelle AI, hebben meer het karakter van pogingen om modellen van 'biologische intelligentie' (BI) te bouwen, die ook een begin van verklaring kunnen bieden van de werking van BI. In het licht van de wetenschappelijke interesse om AI te gebruiken als verklaring voor BI is dit een belangrijk verschil met de hierboven genoemde schakende en converserende systemen. De prestaties van deze laatste vormen van AI berusten immers in hoofdzaak op het uitbuiten van vermogens waar digitale systemen in veel sterkere mate over beschikken dan biologische systemen, in plaats van op modelvorming die op een veronderstelde analogie gebaseerd is.

Het besef van het sterkere model-karakter van 'neuronlike computing' ging in de begintijd gepaard met hoge verwachtingen. Copeland citeert McCulloch "*What we thought we were doing (and I think we succeeded fairly well) was treating the brain as a Turing*

Machine"⁸⁰ (a.w., p. 9). Vooral het vermoeden, dat men op deze manier systemen kon bouwen met een leervermogen dat analoog is aan het biologische leervermogen, voedde deze verwachtingen. Toch heeft men uiteindelijk ook deze verwachtingen sterk moeten bijstellen. Ook de meest geavanceerde modellen die deze benadering heeft opgeleverd corresponderen in belangrijke opzichten niet met de biologische realiteit. Copeland noemt in dit verband studies naar het functioneren van de *caenorhabditis elegans*, een worm die over slechts 300 neuronen beschikt, en waarbij het patroon van onderlinge verbindingen tussen de neuronen perfect bekend is. Ook bij dit betrekkelijk eenvoudige neurale systeem slagen de connectionistische computermodellen er niet in om het gedrag van de worm redelijk betrouwbaar na te bootsen. Copeland concludeert: "*Evidently, the neurons of connectionist theory are gross oversimplifications of the real thing*" (a.w., p. 4).

Ook de successen van nouvelle AI met intelligente robots hebben sommige onderzoekers tot de verwachting verleid, dat dergelijke systemen binnen afzienbare tijd over bewustzijn en taalvermogen zouden beschikken (a.w., p. 12). Anderen, en Copeland valt hen daarin bij, stellen dat deze systemen nog niet in staat geweest zijn om de complexiteit van gedragingen van eenvoudige insecten zoals een mier (a.w., p. 4) of een kakkerlak (a.w., p. 12) te benaderen. De integrale intelligentie van zulke betrekkelijk eenvoudige levende organismen blijkt te ontsnappen aan de benadering van nouvelle AI. Des te meer is er geen enkele grond voor het 'mystieke idee', dat ook hogere orde gedragsvormen zoals taal, plannen en redeneren ooit op de één of andere manier zullen 'emerge- ren' uit de interactie van de simpele gedragsvormen die robots beheersen (a.w., p. 12).

Sommige kritische onderzoekers, die hun werk in dienst stellen van toepassingen waar- bij AI menselijke intelligentie *aanvult*, beschouwen 'strong AI' dan ook als een doel dat niet de moeite waard is (a.w., p. 4)⁸¹. Uit de teneur van Copelands artikel blijkt dat hij zich bij deze opvattingen aansluit.

⁸⁰ In feite gaat dit model verder dan Turings klassieke LCM, die immers uitging van één geformaliseerde uitvoerder (ofwel 'processor') van recursieve procedures (pagina 152-155). Strikt genomen gaat 'neuronlike computing' uit van een *netwerk* van Turing Machines. Maar, McCulloch heeft gelijk in de zin dat ook de werking van een dergelijk netwerk op het concept van Turing Machines gebaseerd is.

⁸¹ Eén van deze kritische onderzoekers, die in de 90er jaren van de vorige eeuw ook in Nederland bekendheid kreeg, is de Oxford-hoogleraar Roger Penrose, die vooral op grond van fundamentele fysische verschillen tussen brein en computer de stelling verdedigt dat "de aanhangers van sterke kunstmatige intelligentie een illusie najagen" (Penrose, 1990, 1991).

3.b Risico's, concurrerende intelligenties?

Tot aan het einde van de 20e eeuw waren de verwachtingen van AI, zoals die leefden in de kringen van AI-onderzoekers en -ontwikkelaars, hoofdzakelijk positief gestemd. De meeste experts zagen vooral de heilzame mogelijkheden. De laatste jaren geven echter een kentering te zien. In toenemende mate zien onderzoekers, ontwikkelaars en AI-filosofen met de ontwikkeling van AI ook grote risico's op de mensheid afkomen.

Een opvallend kenmerk van deze ontwikkeling is tevens dat de komst van kunstmatige intelligentie, die in alle opzichten met menselijke intelligentie kan concurreren, opnieuw door velen aannemelijk wordt geacht. Het lijkt erop dat de kritische kanttekeningen en reflecties die hiervoor beschreven werden (in § 2 en § 3.a) in het vergeetboek zijn geraakt, of niet meer serieus genomen worden. Zoals aan het begin van dit hoofdstuk werd aangekondigd (pagina 148) lijkt de slinger van de ontwikkeling zich weer te bewegen in de richting van reductionisme.

Om deze tendensen te illustreren zullen hierna eerst enkele voorbeelden van risico's beschreven worden die voortkomen uit ontwikkelingen van 'weak AI', ofwel 'aanvullende AI'. Vervolgens zal een onheilspellend risico beschreven worden, dat samenhangt met de verwachting van 'strong AI', in de vorm van '*superintelligentie*'.

Risico's van aanvullende AI

De 24e *International Joint Conference on Artificial Intelligence* vond eind juli 2015 plaats in Buenos Aires. Aan het begin van deze conferentie werd een open brief gepresenteerd waarin AI- en Robotica-onderzoekers waarschuwden voor de mogelijkheid van een wapenwedloop op het gebied van autonome wapensystemen (Future of Life Institute, 2015). Voorbeelden van dergelijke systemen zijn drones, die niet op afstand bestuurd worden, maar geheel zelfstandig op weg gaan om mensen (of andere doelen) te elimineren wanneer die aan bepaalde criteria voldoen. De ontwikkeling van AI en robotica is tegenwoordig zover gevorderd dat de termijn waarop dergelijke systemen op de markt kunnen komen een kwestie van enkele jaren is. Omdat deze systemen op den duur betrekkelijk goedkoop en makkelijk verkrijgbaar kunnen zijn, kunnen zij zich ontwikkelen tot de Kalashnikovs van de toekomst. De dreiging die hiervan uitgaat achten de initiatiefnemers zonder meer vergelijkbaar met de dreiging van een kernwapenwedloop, of van chemische- en biologische oorlogvoering. Daarom roepen zij op tot het maken van internationale afspraken over het beteugelen van dit risico. De oproep verkreeg op den duur ruim 20000 ondertekenaars, waaronder vele beroemdheden zoals Stephen Hawking.

Andere categorieën van risico's worden beschreven in *Kunstmatig van Nature* (2014), een uitvoerig essay dat Jos de Mul schreef ter gelegenheid van de Maand van de Filosofie in 2014. In dit boek beschrijft De Mul onder andere het uitbesteden van cognitieve taken aan automatische systemen (2014, pp. 105-109). Een arts kan bijvoorbeeld het stellen

van een diagnose voor een groot deel uitbesteden aan een expert-systeem. Een ander voorbeeld vormen de Google-auto's, die de belofte inhouden dat we ook alle zorgen rond het besturen van een auto aan een systeem kunnen uitbesteden.

Het probleem van dergelijke vormen van 'cognitieve uitbesteding' is, dat dit systeem voor de gebruiker teveel en te vaak een *black box* is⁸². Vele gebruikers verdiepen zich, gemakshalve, of omdat het systeem bewust ondoorzichtig gemaakt is, nauwelijks in de aard van de processen die het systeem doorloopt om de uitbestede taak uit te voeren. Het gevolg is dat het systeem op basis van ingebouwde criteria keuzen of fouten kan maken, die de gebruiker zou afwijzen wanneer hij zelf die keuzen of fouten zou kunnen maken. De gebruiker staat in feite een gedeelte van zijn menselijke autonomie af aan de autonomie van een systeem. Het lastige is, dat wij in omgevingen leven die dermate ingewikkeld geworden zijn, dat wij het niet meer kunnen stellen zonder dergelijke uitbestedingen. En aan de andere kant is het verwerven van voldoende inzicht in de werking van deze systemen een moeilijke opgave. Het is bovendien duidelijk, dat naast de genoemde voorbeelden, nog talloze andere voorbeelden genoemd kunnen worden, en dat dit aantal voortdurend toeneemt.

Aan het bovenstaande verwante risico's vormen de vele internetdiensten en sociale media waar velen gebruik van maken. Afgezien van het gegeven dat ook bij deze diensten zowel het '*werkmodel*' als het '*verdienmodel*' voor de meeste gebruikers een *black box* is, speelt hier nog een ander risico. Dat risico volgt uit het gegeven dat dergelijke systemen gegevens van hun gebruikers opslaan in data-bestanden, waarin gebruikersdata in atomaire elementen worden gefragmenteerd, zodat zij ook voor allerlei doelen (meestal niet in het belang van gebruikers) kunnen worden gerecombineerd, zowel met elkaar als met gegevens van anderen. Bovendien zijn deze data geld waard, en wordt daarin intensief handel gedreven. Het gevolg is dat de 'narratieve identiteit' van personen getransformeerd wordt in een 'data-identiteit'. Een narratieve identiteit hebben mensen nog min of meer in eigen handen, omdat zij zelf vorm kunnen geven aan het eigen verhaal over zichzelf, of omdat zij de verhalen die over hen de ronde doen kunnen kennen en beïnvloeden. In toenemende mate worden mensen die persoonlijke gegevens uitwisselen via systemen, benaderd, getaxeerd, en gemanipuleerd op basis van data die buiten hun bereik circuleren in cyberspace. Ook deze ongreepbare 'data-identiteit' kan voor de betrokkenen ernstige en ongewenste gevolgen hebben, en vormt daarom een serieus te nemen risico (2014, pp. 109-121).

⁸² De Mul wijst er terecht op dat vergelijkbare nadelen van 'cognitieve uitbesteding' al zo oud zijn als het schrift, en later nog versterkt werden door de verspreiding van schriftelijke informatie via gedrukte of elektronische media (2014, pp. 101-105). Op het gebied van kwaliteitszorg manifesteerden deze nadelen zich bijvoorbeeld in de vorm van papieren instrumenten, die door veel gebruikers werden toegepast, ook in het onderwijs, zonder zich te verdiepen in de onderliggende kwaliteits-opvattingen (Lengkeek, 2003).

Tenslotte noem ik hier de ontwikkelingen die versmelting van biotechnologie met informatietechnologie ons kunnen brengen. Ook aan deze ontwikkelingen wijdt De Mul delen van zijn essay (2014, pp. 121-156). Het gaat hier om het kunstmatig ontwerpen en synthetiseren van genetische informatie, het creëren van levensvormen die nog niet bestaan, tot en met het verbinden van netwerken van breinen en computers via implantaten. Het spreekt vanzelf dat ook deze ontwikkelingen niet alleen heilzaam kunnen zijn, maar ook gepaard gaan aan risico's die nu al veel te denken geven, en dat in de toekomst nog meer zullen doen.

Het lijkt mij evenzeer vanzelfsprekend dat dergelijke ontwikkelingen en risico's aandacht vragen van ieder die bij opvoeding en onderwijs betrokken is. Kinderen en jongeren moeten toegerust en voorbereid worden op de toekomst waarin deze mogelijkheden en risico's op ons afkomen. Om te bevorderen dat zij in die toekomst niet alleen speelbal maar ook speler kunnen zijn in een technologische cultuur en samenleving is het hard nodig dat zij werk maken van hun vorming. En om dat te ondersteunen is het weer hard nodig dat pedagogische leiders werk maken van hun vorming in relatie tot deze ontwikkelingen.

Risico van 'strong AI', of van reductionistische mythevorming?

Publicaties rond de thema's 'intelligentie-explosie' (Muehlhauser, 2013) of 'superintelligentie' (Bostrom, 2014) hebben in de laatste tijd intensieve discussies opgeroepen. Een centrale inspiratiebron voor veel van deze publicaties en discussies is een ouder citaat uit 1965 van I.J. Gould, dat Bostrom (2014, loc. 298)⁸³ als volgt weergeeft: "*Let an ultra-intelligent machine be defined as a machine that can far surpass all the intelligent activities of any man, however clever. Since the design of machines is one of these intellectual activities, an ultraintelligent machine could design even better machines; there would then unquestionably be an 'intelligence explosion', and the intelligence of man would be left far behind. Thus the first ultraintelligent machine is the last invention that man need ever make, provided that the machine is docile enough to tell us how to keep it under control*".

Dit citaat stamt duidelijk uit de periode van hoge verwachtingen van AI, die hiervoor beschreven werd in § 2.a. Deze periode werd gevolgd door een periode waarin kritische stemmen (zoals die van Searle, §§ 2.b - 2.e) werden gehoord, en bovendien de ambities van 'strong AI' geconfronteerd werden met onverwachte tegenvallers. Bostrom, duidelijk een nieuwe aanhanger van 'strong AI', beschrijft deze perioden als '*Seasons of hope and despair*' (2014, loc. 315 e.v.).

Omdat Bostrom er zeker van is dat deze superintelligentie er toch zal komen, niet in de vorm van één machine, maar waarschijnlijker in de vorm van superintelligente netwerken van machines, ziet hij als risico dat er op een zeker moment in de toekomst een

⁸³ Omdat deze bron een eBook is waarin geen pagina's zijn aangegeven, maar alleen 'locaties' verwijst ik er naar volgens het hier gebruikte format.

situatie zal ontstaan waarbij het lot van de mensheid te vergelijken is met het huidige lot van gorilla's. Net zoals het lot van gorilla's in deze tijd meer van de goedgunstigheid van mensen afhangt dan van de gorilla's zelf, net zo goed zal vanaf dat moment het lot van de mensheid afhangen van de goedgunstigheid van superintelligenties die ons als soort voorbijgestreefd zijn (2014, loc. 47). Het enige voordeel dat ons in staat stelt om dit toekomstige lot te beïnvloeden is: "*we get to build the stuff*" (2014, loc 49). Het boek van Bostrom is vervolgens gewijd aan de opgave om de uitdaging, waar deze dreiging de mensheid voor stelt, zo goed mogelijk in kaart te brengen, en strategieën te formuleren waarmee deze uitdaging kan worden beantwoord.

Bij het lezen van zijn betoog, in het licht van de hiervoor weergegeven beschouwingen en discussies, valt het op dat Bostrom de kritiek van Searle, zonder verwijzing naar Searle's publicaties, als irrelevant terzijde schuift (2014, loc. 706, voetnoot 2). Zijn argument daarbij is, dat het voor zijn probleemstelling niet uitmaakt of een superintelligentie al dan niet zou beschikken over een 'mind', in de zin van 'intentionaliteit' of 'bewuste subjectieve ervaringen'. Het enige dat voor Bostrom telt zijn uiterlijk waarneembare intellectuele prestaties, en niet een 'metafysica van de geest'.

Wanneer Bostrom kennis genomen zou hebben van de discussies rond de Chinese Kamer, dan had het hem te denken moeten geven, dat de volkomen syntactisch werkende constructie van een Chinese conversatie-computer, de *semantische* kennis van de Chinese taal vooronderstelt van vernuftige taalwetenschappers en programmeurs. Die laatsten moeten van hun semantische taalkennis syntactiseren wat daarvan syntactiseerbaar is, en het resultaat implanteren in een computer systeem (in de vorm van software). Wanneer men ook die taalwetenschappers en programmeurs overbodig wil maken, dan heeft men een automatisch werkende machine nodig die betekenis verstaat, en naar syntaxis kan vertalen. De vraag, of een dergelijk kunstmatig semantisch systeem ook een 'mind' moet zijn (zoals in het 'natuurlijke geval') kan men in het midden laten⁸⁴, maar dat er een kunstmatig *semantisch* systeem nodig is, daar kan men moeilijk omheen.

Ook al verwijst De Mul (2014) eveneens niet naar Searle, deze blijkt zich wel bewust van de noodzaak om kunstmatige semantische systemen te bouwen, wanneer men de menselijke intelligentie overbodig zou willen maken en zou willen overtreffen. Daarom gaat De Mul wel in op de vraag of het ontwikkelen van semantische automaten, die tot op heden nog niet bestaan, ooit mogelijk zal zijn. Zijn antwoord op die vraag is, dat sommige ontwikkelaars van AI-systemen ervan uitgaan dat zij op een gegeven moment de complexiteit van het menselijk brein kunnen benaderen, en dat dan zoiets als semantisch vermogen kan *emmergen* (2014, p. 168). De Mul blijkt deze aanname van de

⁸⁴ Denk aan de discussies in de literatuur, waarin gespeculeerd wordt over de logische mogelijkheid van 'Zombies'. Met deze term worden kunstmatige systemen aangeduid "die qua fysische structuur, functionele organisatie en gedrag identiek zouden zijn aan mensen, maar die geen enkel bewustzijn bezitten" (de Mul, 2014, p. 59).

betrokken AI-ontwikkelaars te delen: "de vooronderstelling, dat het in principe mogelijk is om een kunstmatig brein met die eigenschappen te bouwen (...) lijkt plausibel te zijn" (2014, p. 180).

Het geloof in de plausibiliteit van deze aanname blijkt dus, zowel bij AI-ontwikkelaars als bij De Mul, gebaseerd te zijn op de mogelijkheid van *emergentie* van semantische machines uit machines die tot nu toe alleen maar syntactisch zijn. Een logische vervolgvraag is echter: *wat weten wij van emergentie, en hoe kunnen we die kennis gebruiken om op emergentie van semantische machines aan te sturen?* Aan het einde van deel I (hoofdstuk 3, § 3.d) is al opgemerkt dat het antwoord op deze vraag afhangt van de keuze om al dan niet te vertrouwen op een reductionistische benadering. Een reductionist, ofwel een aanhanger van '*zwakke emergentie*' zal verwachten dat er ooit een moment zal komen dat we het meer complexe niveau van semantiek geheel zullen kunnen reduceren tot syntaxis, en dat we dan dus ook zullen weten hoe we semantiek volgens automatische procedures uit syntaxis kunnen opbouwen. Een niet-reductionist, ofwel een aanhanger van '*sterke emergentie*' zal stellen dat het conceptuele apparaat (de 'bril') met behulp waarvan we syntactisch werkende machines begrijpen principieel niet voldoet voor het begrijpen van het meer complexe niveau van semantische systemen. Immers, juist om *die* reden noemen we het semantische niveau meer complex. Met andere woorden: we kunnen onmogelijk *vooraf* begrijpen hoe die overgang naar het meer complexe niveau geschiedt; we kunnen alleen *achteraf* met verwondering vaststellen dat er zoiets gebeurd moet zijn. Of, weer anders gezegd: het begrip 'emergentie' is een begrip voor principiële onwetendheid. En, als er één consequentie duidelijk is, dan is het wel dat 'emergentie' om die reden *niet maakbaar* is.

Het merkwaardige is nu, dat De Mul eerder in zijn boek zelf ook deze laatste niet-reductionistische benadering van emergentie bepleit (2014, pp. 64-65). Tegen die achtergrond is het moeilijk te begrijpen hoe hij dan later de vooronderstelling plausibel kan achten, dat men, uitgaande van *machines* die totaal blind en doof zijn voor betekenis, een nieuwe generatie van machines zal ontwikkelen die wél betekenis verstaan. Een 'machine' is immers per definitie een 'gemaakt' en dus ook 'maakbaar' systeem. Wanneer wij eenmaal een semantische machine *gemaakt* zouden hebben, dan zou de ontwikkeling van semantiek uit syntaxis geen emergentie meer zijn. Dan zouden we weten hoe een semantisch systeem uit syntactische onderdelen samengesteld kan worden, en dus ook hoe semantiek tot syntactische configuraties en interacties herleid kan worden. En omgekeerd: wanneer wij principieel niet kunnen weten hoe een dergelijke emergentie geschiedt, en wij zo'n emergentie dus ook niet kunnen 'maken' of 'produceren', hoe zouden we het dan plausibel kunnen achten dat deze emergentie zal resulteren uit het werk van AI-ingenieurs die, als technici, uitsluitend op maakbaarheid gericht zijn?

Het lijkt erop dat de verwachting van een 'intelligentie explosie' of van machinale 'superintelligentie' voortkomt uit de terugkeer van reductionistische mythevorming⁸⁵ rond AI, zoals die zich al eerder heeft voorgedaan (zie pagina 158).

Wanneer mijn inschatting klopt, dat de recente discussies rond superintelligentie berusten op mythevorming, en dat dergelijke mythevorming of reductionisme een regelmatig terugkerend fenomeen is, dan is hiermee ook een groot pedagogisch belang gemoeid. Voor de vorming van jonge mensen lijkt het mij van groot belang dat zij niet alleen kennis maken met de inspirerende *sterke kanten* van wiskundig-formaliserend denken en doen, maar ook kennis maken met de ontsporingen die voortkomen uit het vergeten of negeren van de *beperkingen* van dit lid van de onderzoeksfamilie. Een goed zicht op die mogelijkheden én beperkingen kan inspireren tot het creatief zoeken naar interessante vormen van samenwerking tussen de wiskundige kennisbenadering en geheel andere kennisbenaderingen.

Is het vergeten of negeren van beperkingen, en reductionistische mythevorming, misschien een risico dat 'van nature' gepaard gaat aan de ontwikkeling van de wiskundig-formaliserende benadering van onderzoek en kennis?

⁸⁵ Bij dit negatieve gebruik van de termen 'mythe' en 'mythevorming' moet aangetekend worden dat deze termen ook een positieve betekenis kunnen dragen. Mythische beeldvorming van de werkelijkheid vertegenwoordigt een kennisvorm die oudere papieren heeft dat wetenschappelijke kennisvorming, en die van oudsher ook gediend heeft als voertuig voor veel wijsheid (van der Wal, 2011, pp. 39-61). Wijsheid, waarvan bijvoorbeeld de hiervoor genoemde Hindu-mythe over het fundament van de wereld getuigt (pagina 145).

HOOFDSTUK 7

Reflectieve samenvatting, aanvullingen, conclusies

In dit hoofdstuk zal ik een reflectieve samenvatting en aanvulling uitwerken van de tot nu toe beschreven ontwikkeling van wiskundig-formaliserend denken en doen. Door de vroegere fasen van ontwikkeling nog eens in het licht van latere fasen te beschouwen wil ik aanvullende duidelijkheid verkrijgen over de sterke kanten en beperkingen van wiskundig en machinaal denken, en over zijn geschiedenis van discutabele interacties met mens- en wereldbeelden (zie richtvraag 1 op pagina 109).

In § 7 van dit hoofdstuk zal deze benadering resulteren in een uitvoeriger aanvullend betoog over de vraag *of machines met leervermogen toch intrinsiek intelligent kunnen worden*. Omdat reductionistische mythevorming zo'n taai bestaan leidt, lijkt het mij goed om aanvullende argumenten tegen deze mythevorming in stelling te brengen.

In § 8 zullen de eerdere beschouwingen over de toenemende rol van kunstmatige intelligentie, en over de blijvende rol van intuïtie voor de werkwijze van wiskundig onderzoek aangevuld worden (zie richtvraag 2 op pagina 109). Dit gedeelte zal bovendien uitlopen op suggesties voor wiskunde onderwijs.

Het hoofdstuk zal eindigen met conclusies waarin teruggekomen zal worden op de vraag waarmee het vorige hoofdstuk eindigde.

1 INSPIRERENDE INZICHTEN EN ESSENTIALISTISCHE MYTHEVORMING

In hoofdstuk 4, § 1.a (pagina 111 e.v.), begon mijn beschrijving bij het ontstaan van wiskunde als wetenschap van numerieke en geometrische vormen van orde. Deze vormen van orde werden, los van hun materiële realisaties als op zichzelf staande vormen beschouwd, ofwel: 'geabstraheerd'. Dankzij de abstractie kregen deze vormen een universeel en tijdloos karakter.

In terugblik kan deze concentratie op vormen ('formae') als een eerste stap gezien worden naar het 'formaliseren' dat vanaf de 19^e eeuw een centraal begrip werd. De abstracties waarmee de wiskunde begon impliceerden al het afzien van een groot deel van de 'aboutness' waar deze vormen in concrete ervaringen mee verbonden zijn. Concrete ervaringen hebben bijvoorbeeld betrekking op een boom of een pilaar die een cirkelvormige omtrek heeft. In de concentratie op de universele en tijdloze cirkelvorm wordt afgezien van alle materiële 'waarovers' waar deze vorm in concreto mee verbonden is.

Wanneer ik hier nu achteraf ook het concept 'intentionaliteit' (inhoudelijke gerichtheid + betrokkenheid) op toepas, dan is duidelijk dat de 'oude wiskunde' zowel afziet van alle materiële inhoudelijkheid, als ook van alle betrokkenheid die in de primaire ervaring met die materialiteit verbonden is. Wanneer men zich bijvoorbeeld bij een pilaar of een boom concentreert op de cirkelvorm, en die zuiver wiskundig beschouwt,

dan impliceert dit, dat zowel de materialiteit als ook alle 'verschillige' houdingen, opvattingen en waarderingen, die in de concrete leefwereld daarmee verbonden zijn, uit het blikveld worden weggefilterd. De oude wiskundige 'bril' had in die zin al een formeel-afstandelijk karakter. Het is opmerkelijk, dat die intentionaliteit op een meta-niveau (waarop men *over* getallen, geometrische figuren en hun wetmatigheden spreekt en nadenkt) weer terugkeert. Zoals ik op pagina 114 schreef, riepen zowel getallen als geometrische figuren, en de formele gevolgtrekkingen die men op die gebieden ontdekte, dankzij hun universeel en tijdloos karakter, bij wiskundigen verwondering en bewondering op. De intentionele gerichtheid op deze formele entiteiten ging dus gepaard met nieuwe vormen van verschillende betrokkenheid.

In § 1.b (pagina 112 e.v.) is besproken hoe de oude wiskunde eerste voorbeelden van modelvorming liet zien. In de formele taal van de meetkunde is kennis van de cirkelvorm bijvoorbeeld geformuleerd als $o = \pi \times d$. Deze formule kan, in alle gevallen waar men met een materiële cirkelvorm te maken heeft, gebruikt worden om na meting van de diameter van een cirkelvormig object te voorspellen wat meting van de omtrek zal opleveren, of omgekeerd. Via modelvorming wordt een *materieel-praktische gevolgtrekking* in verband gebracht met een *logische gevolgtrekking*. Het is de exacte correspondentie van deze twee verschillende soorten van gevolgtrekking die de inspirerende ervaring van *kennis* oplevert.

In § 2 (pagina 114 e.v.) kwam aan de orde hoe wiskunde al in de oudheid modellen ontwikkelde op een hoger niveau van abstractie. Het uitgangspunt voor deze modelvorming vormde de al bestaande kennis van formele objecten op een bepaald gebied, zoals de meetkunde, en het model bestond uit formeel-logische redeneringen waarmee eigenschappen van formele objecten *bewezen* konden worden. Een klassiek voorbeeld, dat al door Plato beschreven werd, vormde het bewijs van de stelling van Pythagoras. De systematisering van de gehele meetkunde door Euklides betekende een belangrijke mijlpaal op dit gebied. Hij ontwikkelde als eerste een *axiomatisch systeem*, dat wil zeggen: een model dat is opgebouwd uit elementaire definities, afleidingsregels, en enkele als uitgangspunt aan te nemen waarheden (de axioma's). De overgrote meerderheid van alle bekende eigenschappen van meetkundige vormen bleek in de loop der tijd uit de uitgangspunten van het euclidische systeem logisch afgeleid te kunnen worden. Deze ervaringen voedden de verwachting dat uiteindelijk *alle* waarheden op meetkundig gebied euclidisch bewezen zouden kunnen worden. Met andere woorden: men was er van overtuigd dat het euclidische model een *volledig* model was.

In de loop van de verschillende paragrafen van hoofdstuk 4 werd ook beschreven hoe de fascinerende ontwikkeling van inzicht in geïdealiseerde en geabstraheerde vormen, die men bovendien het zuiverst herkende in de banen van hemellichamen (§ 1.a), het idee opriepen dat aan deze 'eeuwige' en 'universele' vormen een hoge, of zelfs een goddelijke status moest worden toegekend (§ 2). De keerzijde van deze bewondering was de opvat-

ting dat alles waar een wiskundige benadering van afziet een letterlijk 'minder-waardige' status heeft. Het materiële, het zintuiglijke, het lichamelijke, het individuele, het unieke, en het tijdgebundene, werden door velen beschouwd als bijkomstige aspecten waar een wiskundige van afziet in zijn streven om de *essenties*, de tijdloze en universele vormen aan het licht te brengen en zijn inzicht daarin te verdiepen. In § 2.b werd geschetst hoe het Griekse essentialisme vanaf de 16e eeuw naadloos geïncorporeerd werd in een christelijke levensbeschouwing. God werd gezien als de Grote Mathematicus, die bij de schepping wiskundig tewerk is gegaan. Zo gaf de ontwikkeling van wiskunde aanleiding tot het vormen van een essentialistisch wereldbeeld, dat tot in onze tijd, en ook in gesecculariseerde vorm, zijn aanhangers heeft.

Uiteraard is het ook tot op de dag van vandaag een kwestie van keuze en van basisvertrouwen of men al dan niet voor dit wereldbeeld kiest. Voor wie hier niet voor kiest is één van de overwegingen, dat er eigenlijk geen enkele aanleiding is om ervan uit te gaan dat de aspecten waar een wiskundige van afziet minder essentieel zijn dan de aspecten waar een wiskundige zich op concentreert. Men kan aan de hand van andere ervaringen evengoed betogen dat juist het eenmalige, het lichamelijke en het individueel-unieke essentieel zijn. Zo gezien kan de positieve inspiratie van wiskundig inzicht als keerzijde hebben dat mensen helemaal in de wiskundige zienswijze opgaan, en die gaan zien als dé zienswijze. De verleiding van een reductionistische mythe, zoals de mythe van de Goddelijke Mathematicus, is dan een risico dat als keerzijde samenhangt met de diepe voldoening en inspiratie die wiskunde te bieden heeft.

2 RADICALE FORMALISERING EN DE AMBITIE VAN HET ABSOLUTE BEWIJS

In hoofdstuk 5, § 1 (pagina 121 e.v.), werd beschreven hoe zich in de 19^e eeuw, vanuit een nog hoger niveau van abstractie, onderzoek en theorievorming ontwikkelde *over* axiomatische systemen. Uitgaande van het euclidische systeem ging men daarop variëren, en zodoende ontwikkelde men een veelheid aan axiomatische systemen ('meetkonden') die logisch gezien even robuust bleken als het euclidische systeem. Een consequentie was, dat men bij het ontwikkelen van de niet-euclidische meetkonden ook abstraheerde van 'empirische waarheid' en van 'aanschouwelijkheid'. Logische juistheid kwam in plaats van 'waarheid'; axioma's werden 'uitgangspunten voor deductie'; 'ruimtelijke intuïtie' speelde geen rol meer.

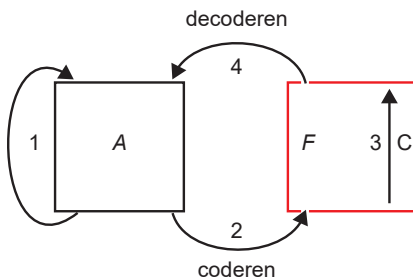
Later bleek dat enkele van deze abstracte systemen onvoorzien toch empirisch toepasbaar bleken, bijvoorbeeld bij de revolutionaire ontwikkelingen van de fysica aan het begin van de 20^e eeuw. Het wiskundig-speelse overschrijden van traditionele kaders bleek aan fysici precies de goede instrumenten op te leveren waarmee zij op hun beurt de kaders van de traditionele fysica konden doorbreken.

In § 2 (pagina 125 e.v.) kwam vervolgens aan de orde dat ook aritmetica en algebra geaxiomatiseerd werden, en hoe ook de wiskundige logica vergaand geformaliseerd werd. De gevolgen van deze verdergaande formalisering werden in § 3 (pagina 127 e.v.) beschreven. Het blijvende gevolg is, dat het voor een zuiver geformaliseerd systeem, een 'calculus', er in het geheel niet meer toe doet waar zijn logische taal *inhoudelijk* betrekking op heeft. Wiskundig gezien maakt het niet meer uit of het in een calculus over getallen, over ruimtelijke entiteiten, of over nog iets anders gaat. Het enige dat telt zijn de afspraken (over symbolen, formatieregels, transformatieregels en primitieve formules) waarop een axiomatische calculus gebaseerd is, en de vraag of die afspraken in een afleiding correct zijn toegepast.

Als gevolg van deze ontwikkelingen veranderde ook de identiteit van de wiskundige discipline. De wetenschap van numeriek-geometrische orde ontwikkelde zich tot wetenschap van alle formaliseerbare vormen van orde. Dat wil zeggen: tot wetenschap van alle vormen van zuiver logische gevolgtrekking.

De werking van een calculus werd in deze paragraaf vergeleken met de taakuitvoering door een onwetende gevangene in een 'isoleercel'. Een te bewijzen stelling of een rekenprobleem moet geformuleerd worden (het coderen) in de vorm van een *formule* in de termen van de axiomatic volgens welke het formele systeem F werkt. Binnen F kan dan een reactie op de input geconstrueerd worden zonder dat daarvoor enige kennis nodig is van de betekenis die de input buiten de sfeer van F heeft. De output van F wordt in de 'buitenwereld' opnieuw vertaald (gedecodeerd), bijvoorbeeld als bewijs van een stelling die op priemgetallen betrekking heeft, of als oplossing van een wiskundige vergelijking. Met deze metafoor van de onwetende gevangene werd geïllustreerd dat formalisering, taaltheoretisch gezien, equivalent is met het isoleren van syntaxis en semantiek ten opzichte van elkaar.

Figuur 14



Omdat de problemen die in formulevorm aan een dergelijk formeel systeem aangeboden kunnen worden op vele verschillende gebieden kunnen liggen (zoals fysische problemen, technische problemen, verkeersproblemen, statistische problemen van steekproeven, economische problemen, et cetera) heeft wiskunde zich ook ontwikkeld tot een hulpwetenschap bij vele andere takken van onderzoek. Binnen de wiskundige gemeen-

schap wordt sindsdien onderscheid gemaakt tussen 'zuivere wiskunde' en 'toegepaste wiskunde'.

Wanneer ik het bovenstaande opnieuw interpreteer in het licht van 'intentionaliteit', dan constateer ik dat ook de nieuwe identiteit van wiskunde niet impliceert dat intentionaliteit, als inhoudelijke gerichtheid plus verschillende betrokkenheid, uit haar sfeer verbannen is. In tegendeel, naast de mathematiek in engere zin, ontwikkelen zich voortdurend meta-mathematische taalniveaus. Op deze meta-niveaus kunnen allerlei beschouwingen *van* en discussies *over* formele systemen en hun problemen gevoerd worden. Op deze niveaus kunnen problemen als wel of niet 'interessant', en oplossingen als wel of niet 'elegant' gewaardeerd worden. Op deze niveaus kunnen 'out of the box' denken, creativiteit en onnavolgbare intuïtie ruim baan krijgen. Dankzij deze meta-niveaus blijft wiskunde inspirerend, en een vak in ontwikkeling.

In § 4 (pagina 138 e.v.) werd beschreven hoe het loslaten van 'empirische waarheid' als kwaliteitscriterium voor een axiomatisch systeem leidde tot de opkomst van twee nieuwe criteria: 'consistentie' en 'volledigheid'. Vervolgens leidde dit tot de vraag of en hoe men het voldoen aan deze criteria zou kunnen bewijzen.

Het onderzoek naar de bewijsbaarheid van consistentie bracht aan het licht dat de consistentie van de meer ingewikkelde systemen slechts *relatief* bewezen kon worden (niet-euklidische meetkunde is consistent indien euklidische meetkunde consistent is; en deze is consistent indien algebra consistent is; en deze is consistent indien getaltheorie en aritmetica consistent zijn). Zodoende bleken getaltheorie en aritmetica voor de consistentie van de hele wiskunde een 'hoeksteen' te vormen. En, om volkomen zeker te kunnen zijn van de consistentie van deze hoeksteen, zou alleen een *absoluut* bewijs van consistentie kunnen voldoen.

Het onderzoek had ook duidelijk gemaakt dat men alleen kans maakte op het vinden van een dergelijk absoluut bewijs, wanneer getaltheorie en aritmetica voorgesteld konden worden als (instantie van) een zuiver formele axiomatische calculus. Nu hadden Russell en Whitehead in hun *Principia Mathematica (PM)* in een dergelijke calculus voorzien. Maar, om er zeker van te kunnen zijn dat via deze calculus het 'consistentie-probleem' opgelost zou kunnen worden moesten zowel de volledigheid als de consistentie van deze calculus bewezen worden.

3 HET BEWIJS VAN BEPERKTHEID

In § 5 (pagina 141 e.v.) werd beschreven hoe Gödel de bodem insloeg van de hoop op een dergelijk bewijs. Zijn bewijs, waarmee het tegendeel van waar men op hoopte bewezen werd, leidde tot een tweevoudig resultaat:

1. Indien calculus C (uit *PM*) consistent is, dan is zij onvolledig.
2. Indien calculus C consistent is, dan kan die consistentie niet bewezen worden (volgens C's eigen logica).

Bovendien was duidelijk dat deze twee resultaten niet afhankelijk waren van bijzondere tekortkomingen van de calculus zoals Russell en Whitehead die ontwikkeld hadden, maar evenzeer zouden gelden voor alle soortgelijke formele axiomatische systemen. Er was geen enkele uitzicht op een 'reparatie' die deze resultaten ongedaan zou kunnen maken.

Het was nog een beperking van Gödels resultaten dat hij alleen kon bewijzen dát er op het gebied van aritmetica en getaltheorie stellingen moesten zijn die niet bewezen zouden kunnen worden, zonder een indicatie te kunnen geven van een methode volgens welke men deze stellingen zou kunnen identificeren. Latere wiskundigen slaagden daar wel in en zij maakten zodoende van 'Gödels nightmare' een 'full blooded reality'.

Tenslotte bleek later ook, dat de consistentie van een calculus zoals C wel overtuigend bewezen kon worden op het niveau van een meta-mathematica, en met behulp van een meer uitgebreide logica dan die van C zelf. Maar, een dergelijk bewijs was opnieuw relatief omdat de geldigheid ervan afhangt van de consistentie van deze meta-mathematica, waarvan het bewijs nog niet geleverd is.

Aan het slot van deze paragraaf (pagina 147 e.v.) beschreef ik enkele interpretaties van Gödels werk, en enkele andere reacties die voor mijn onderzoek van belang zijn.

1. De ambitie om het hele systeem van de wiskunde eens en voor al op een vast systeem van axioma's en afleidingsregels te funderen is onhaalbaar. Het ziet er naar uit dat het werk aan de fundering van wiskunde onafsluitbaar is (denk, zoals Russell, aan de hindu-mythe over het fundament van de wereld).
2. Wanneer (zie Figuur 14 op pagina 186) A het systeem is van aritmetica en getaltheorie, en F het formele model daarvan op basis van calculus C , dan kan ik, in navolging van Nagel & Newman en van Rosen, concluderen dat de gevolgtrekking die binnen A bestaat niet volledig correspondeert met, of niet volledig gerepresenteerd wordt door, de zuiver formele gevolgtrekking die in systeem F belichaamd is.
3. Men kan, zoals Rosen aanbeveelt, het begrip 'complexiteit' gebruiken voor het typeren van een dergelijk verschil tussen 'origineel' en 'model' en concluderen dat in dit geval het originele systeem A een complexer systeem vormt dan zijn model F .
4. Tenslotte kan men (met Rosen) *vermoeden* dat er meerdere gradaties zijn in complexiteit, en dat kwantitatieve systemen, zoals A , op hun beurt weer minder complex kunnen zijn dan de originele systemen die in een kwantitatief model zijn afgebeeld.

Wanneer men deze interpretaties vergelijkt met het eerder beschreven essentialisme dat bij vele aanhangers mythische proporties verkreeg, dan geeft Gödels werk veel aanleiding tot grotere bescheidenheid. Zelfs binnen de wiskunde blijkt men al te stuiten op complexiteit die niet in een formeel model te vangen is, en de wiskunde blijkt niet in staat om zichzelf van een absoluut fundament te voorzien. Voor wie vermoedt dat wiskunde betrekkelijk, beperkt en tijdgebonden mensenwerk is, vormen deze ontdekkingen een belangrijke bevestiging van dit vermoeden.

4 MACHINEMATIG DENKEN ALS AANVULLEND BEWIJS VAN BEPERKTHEID

In hoofdstuk 6 (pagina 149 e.v.) volgde een weergave van de ontwikkeling die, vertrekkend vanuit Gödels werk, uitliep op het ontkiemen van een nieuwe tak van wiskunde: de mathematische informatica.

Deze ontwikkeling begon bij onderzoekers, zoals Church en Turing, die geïnteresseerd waren in vervolgvragen die Gödels werk opriep, en die daartoe opnieuw begonnen bij de vraag wat nu precies het karakter is van een formele calculus. Om deze vraag onderzoekbaar te maken maakten zij gebruik van de metafoor van de blind gehoorzame rekenaar, die geen andere hulpmiddelen tot zijn beschikking heeft dan potlood en papier. Deze metafoor werd aangescherpt tot het concept van de 'effectieve procedure'.

De analyse van Church deed hem uitkomen bij het mathematische concept van *recursive procedures*. Deze procedures zijn te omschrijven als eenduidig voorgeschreven 'step-by-step procedures', die voor iedere volgende stap geen andere data als input gebruiken, dan de initiële data of de data die één of meer eerdere stappen als output hebben opgeleverd. Church beschouwde afleidingen volgens de regels van een calculus C zodoende als voorbeelden van recursieve procedures. De mathematische consequenties van deze recursiviteit kon Church ontlenen aan de theorievorming omtrent recursieve functies.

Turing ging in zijn analyse nog een stap verder door de recursieve step-by-step redeneringen, die door een logisch redenerend mens binnen een calculus gevolgd worden, weer te vergelijken met de werking van een geïdealiseerde 'logical computing machine' (LCM) die van een geheugen gebruik maakt. Turing was vervolgens in staat om de werking van dergelijke LCM's te formaliseren, en een nieuwe tak van wiskunde te ontwikkelen (mathematische informatica) waarin beweringen over LCM's geformuleerd en bewezen konden worden.

Church en Turing constateerden de equivalentie van hun analyses, en gingen een samenwerking aan. Die samenwerking resulteerde in de hypothese die bekend staat als 'de stelling van Church en Turing'. Deze kon geformuleerd worden als:

Iedere effectieve calculatie die door een mens uitgevoerd kan worden, kan door een LCM uitgevoerd worden.

Aan de literatuur ontleende ik de volgende opmerkingen en conclusies bij deze stelling (pagina 154 e.v.):

- De stelling stelt in staat om het proces van wiskundig formaliseren, zelf ook weer te formaliseren, en zodoende wiskundig onderzoekbaar te maken.
- De stelling heeft in feite niet het karakter van een wiskundig bewijsbare stelling, maar van een werkhypothese.

- De werkhypothese is omkeerbaar (een mens kan in principe uitvoeren wat de machine doet).
- De werkhypothese is wel falsifieerbaar (door een tegenvoorbeeld).
- De werkhypothese wordt nog steeds als zeer plausibel beschouwd.

Het werk van Church en Turing leverde inderdaad belangwekkende resultaten op in het verlengde van het werk van Gödel. Zo werd bijvoorbeeld duidelijk dat het aantal onbewijsbare stellingen binnen een calculus, zoals de in *PM* uitgewerkte, oneindig is; en zo maakte men ook belangrijke vooruitgangen in het identificeren van stellingen en problemen die onbeslisbaar zijn.

Maar, daarnaast ging de ontwikkeling van deze nieuwe tak van informatica ook hand in hand met de snelle opkomst van de programmeerbare computer. Turing bleek voor deze ontwikkeling een blijvend en robuust theoretisch fundament te hebben gelegd. Zijn LCM kreeg daardoor algemene bekendheid als 'Turing Machine' (TM), en het mathematische model van een programmeerbare computer werd bekend als 'Universele Turing Machine' (UTM).

Aan de in dit gedeelte samengevatte ontwikkeling ontleen ik nu vier conclusies:

1. De analogie tussen enerzijds het menselijke zuiver formeel voltrekken van een deductieve redenering binnen een axiomatische calculus, en anderzijds de automatische werkwijze van een 'computing machine' is zeer verhelderend. De overeenkomst waarop de analogie berust is het isolerend afscheiden van een syntactische operatie. Wanneer men een machine een taak wil laten uitvoeren, dan moet een ingenieur of programmeur die uitvoering zuiver formeel-syntactisch construeren vanuit de basisoperaties die tot het repertoire van de machine behoren, zonder bij de machine ook maar enig inhoudelijk begrip te veronderstellen. Op dezelfde wijze moet een wiskundige, die een streng-logische deductieve redenering wil ontwerpen, zich zuiver formeel-syntactisch beperken tot de operaties op symbolen en formules die binnen een calculus zijn toegestaan, zonder ook maar enig gebruik te maken van semantisch begrip van de betekenissen die aan deze symbolen en formules toegekend kunnen worden. Net als bij een machine vindt binnen een calculus alleen een van alle semantiek geïsoleerde syntactische operatie plaats. Het enige verschil is, dat een machine niet anders kan dan syntactisch functioneren, terwijl een wiskundige (of programmeur, of ingenieur) zich daartoe moedwillig kan beperken.
2. Deze analogie verklaart ook de brede toepasbaarheid van automatisering, c.q. informatietechnologie. Immers, alle taken die zich laten beschrijven als een recursieve procedure, volgens de logica van een formeel model, kunnen in principe ook vertaald worden naar de recursieve procedures van een automatisch werkende machine. Wanneer eenmaal de formele syntaxis van een bepaalde taak uit zijn concrete verband ge-abstraheerd en geïsoleerd kan worden, dan is in principe de weg gebaad voor automatisering. Wanneer men echter een taak, die gewoonlijk door

mensen uitgevoerd wordt wil laten overnemen door een machine, dan moet die taak in het algemeen ook gereorganiseerd worden. De taak is immers pas formaliseerbaar wanneer deze uitgevoerd kan worden op de manier van 'de blind gehoorzame gevangene'. Informatici benoemen dit reorganiseren en formaliseren ook wel als '*syntactiseren*'. Daarmee wordt treffend benoemd dat het bij dit werk gaat om het verkrijgen van een isoleerbare syntaxis. De ontwikkeling toont aan dat er vele taken zijn die zich laten syntactiseren. Taken zoals: rekenen, schaken, vertalen, een vliegtuig of een kruisraket besturen, een diagnose stellen, een gezicht herkennen, een wiskundig bewijs controleren, et cetera, et cetera.

3. De eisen waaraan zowel wiskundige berekeningen of bewijzen moeten voldoen, als waaraan ook een machinaal uitvoerbare taak moet voldoen, namelijk het 'semantisch blind' uitvoeren van eindige recursieve procedures, lijken tegelijk beperkingen met zich mee te brengen voor de gevolglichheid die op deze wijze gerepresenteerd kan worden (pagina 159 e.v.). Die beperkingen blijken al binnen de zuivere wiskunde, en zullen dus ook gelden op alle gebieden waarop wiskundige modelvorming of machinematige berekening wordt toegepast.
4. Rosens aanbeveling, om het tekortschieten van formele modelvorming te beschrijven in termen van complexiteit (pagina 148), lijkt mij verhelderend en bruikbaar.

5 KUNSTMATIGE INTELLIGENTIE ALS CONCURRENT?

In § 2.a van hoofdstuk 6 (pagina 161 e.v.) werd geschetst hoe de ontwikkeling van informatica en informatietechnologie na de tweede wereldoorlog een hoge vlucht nam en gepaard ging aan hoge verwachtingen. Turing speelde zelf een belangrijke rol, zowel in die ontwikkelingen, als in het formuleren van hoge verwachtingen. Hij had in 1948 al een ontwerp voor een schaakcomputer ontwikkeld, om te bewijzen dat dit spel zodanig gesyntactiseerd kan worden dat ook een computer kan schaken. Deze en dergelijke experimenten brachten hem tot de overtuiging dat computers in principe tot alle intelligente taken in staat zijn, die mensen kunnen vervullen. Het was zijn inschatting dat menselijke conversatie tot de meest complexe taken behoort, en hij stelde in 1950 de beroemde Turing-test voor, als ijkpunt voor het moment waarop computers de mens qua intelligentie ingehaald zouden hebben.

Turing gaf daarmee de aanstoot tot een ontwikkeling waarbij vele onderzoekers zich toelegden op het syntactiseren van menselijke verrichtingen, zodat die door computers overgenomen zouden kunnen worden. Daaruit resulteerden onder andere conversatieprogramma's en bijvoorbeeld ook een programma, dat enkele aspecten van wiskundige heuristiek voor zijn rekening kan nemen, en dat men -vooruitgrijpend op toekomstig succes- alvast de 'Artificial Mathematician' had genoemd (pagina's 157 en 160).

Er werd echter niet door iedereen geloof gehecht aan dit toekomstperspectief van kunstmatige intelligentie, die de concurrentie met menselijke intelligentie zou aangaan en zou

winnen. In de wiskundige gemeenschap kritiseerden bijvoorbeeld Nagel en Newman, op grond van het werk van Gödel, de plausibiliteit van het idee dat computers ooit het werk van wiskundigen in zijn geheel zouden kunnen overnemen (pagina 156 e.v.).

- Nagel en Newman betogen dat Gödel aantoonde dat de exact gereguleerde recursieve step-by-step-procedures, die zowel binnen wiskundige berekeningen en bewijzen gevolgd worden als ook door computers gevolgd worden, bij lange na niet voldoen om alle opgaven van berekenen of bewijzen op te lossen, die binnen een bepaalde calculus voorkomen. Om dergelijke opgaven tot een goed einde te brengen nemen wiskundigen hun toevlucht tot vormen van meta-mathematica en tot niet exact gereguleerde zoekmethoden.
- Daartegenover poneerde Hofstadter dat een programma zoals de 'Artificial Mathematician' demonstreert dat ook aspecten van wiskundige heuristiek formaliseerbaar en programmeerbaar zijn, en dat er daarom alle reden is om te verwachten dat men uiteindelijk ook het creatieve denken van mathematici in computerprogramma's kan vangen.
- In reactie daarop merkte ik zelf op dat dit argument van Hofstadter geen steek houdt tegenover de argumenten van Nagel en Newman (pagina 160). Wanneer Church en Turing al aantoonde dat er binnen een calculus vele opgaven geformuleerd kunnen worden die niet-computable zijn (naast de vele andere opgaven die wel computable zijn), hoe kan Hofstadter dan beweren dat het vinden van een aantal opgaven op wiskundig-heuristiek gebied die computable zijn, aannemelijk maakt dat *alle* opgaven op wiskundig-heuristiek gebied computable zijn?

Op pagina 158 werd Copeland geciteerd, die de verwachting dat kunstmatige intelligentie op den duur zou kunnen concurreren met menselijke intelligentie en vervolgens diens plaats geheel zou kunnen vervangen, kwalificeerde als een *mythe*. Een mythe die berust op een aantal misverstanden (inclusief bij Turing zelf) maar die desondanks vele wetenschappers en filosofen van naam in zijn ban heeft. Deze mythevorming bracht mij tot de vraag (pagina 160):

Hoe is het mogelijk, dat een theorie,

- *die begint bij een mens wiens gedrag drastisch is ingeperkt tot blinde gehoorzaamheid, tot alleen potlood en papier, en tot geen inzicht of vernuft,*
- *en die vervolgens beschrijft dat aan de 'domheid' van die gehoorzame uitvoerder extern ontwikkelde 'slimheid' in handen wordt gegeven, in de vorm van betekenisloze symbolen en geformaliseerde, blind uitvoerbare, instructies,*
- *en die daarna aanneemt dat een specifieke categorie van machines precies het gedrag vertoont dat uit bovenstaande combinatie van domheid en geïmplanteerde slimheid resulteert,*
uiteindelijk als gevolg heeft dat velen tot de overtuiging komen dat dergelijke eigenaardige machines in essentie over het potentieel beschikken om het gedrag te verklaren

en te reproduceren, dat wij bij onszelf en bij anderen ervaren als voortkomend uit een intelligente 'mind'?

In het verlengde van het vermoeden dat ik eerder formuleerde (pagina 185) kan ik in antwoord op deze vraag nu het vermoeden formuleren: dat de positieve inspiratie, die opgeroepen wordt door het perspectief op steeds nieuwe gebieden van interessante toepassingsmogelijkheden, als keerzijde de verleiding met zich meebrengt om de eerder ontdekte beperkingen te vergeten of te negeren, en geloof te hechten aan de reductionistische mythe dat de 'werkende modellen' van intelligentie die computersystemen laten zien, modellen opleveren die in principe volledig en sluitend te maken zijn voor intelligentie überhaupt. Via de computer zou de mens, volgens deze mythe, uiteindelijk de essentie van zijn eigen geest en bewustzijn volkomen gaan doorgronden (zie het kenmerkende citaat van de cognitieve psycholoog Johnson-Laird in voetnoot 60 op pagina 158).

In § 2 (pagina 161 e.v.) beschreef ik hoe John Searle, met behulp van de metafoor van de Chinese kamer, met nieuwe argumenten probeerde aan te tonen dat het geloof in deze mythe ongegrond is. David Cole vatte Searle's argumentatie in vier punten als volgt samen (pagina 167):

1. Programma's zijn zuiver formeel (syntactisch).
2. Een 'mind' is wezenlijk op intentionele inhoud gericht (semantiek).
3. Syntaxis alleen kan niet de voorwaarden realiseren die nodig en voldoende zijn voor het realiseren van semantische inhoudelijkheid.
4. Daarom kan geen enkel programma de voorwaarden realiseren die nodig en voldoende zijn om 'mind' te doen ontstaan.

Searle formuleert in zijn betoog nog een aanvullend vermoeden in reactie op bovenstaande vraag. Hij merkt op dat wij in het dagelijkse spraakgebruik metaforische intentionaliteit toeschrijven aan apparaten. Een uitspraak zoals "mijn computer heeft de spelling gecheckt" ligt in het verlengde van "de thermostaat heeft een temperatuurverandering waargenomen". Dergelijke attributies van intentionaliteit aan apparaten is verwant aan onze attributies van intentionaliteit aan teksten. Van een tekst lezen we in principe de intentionaliteit van de (afwezige) auteur niet anders af, dan dat wij de intentionaliteit van een (afwezige) ingenieur, programmeur, of andere ontwerper aflezen van een apparaat. De neiging om het metaforische of afgeleide karakter van onze attributies te vergeten wordt volgens Searle nog versterkt wanneer apparaten fungeren als verlengstukken van onszelf en onze eigen intentionaliteit. Hoewel er eigenlijk geen enkele grond is om geprogrammeerde computers anders te beschouwen dan bijvoorbeeld auto's, maakt

onze neiging om het metaforische karakter van onze attributies te vergeten het gemakkelijker om ook de intrinsieke beperktheid van kunstmatige intelligentie te vergeten⁸⁶.

6 AI EN HI ALS ELKAAR AANVULLENDE INTELLIGENTIES

In § 3.a (pagina 171 e.v.) werd beschreven hoe Copeland de successen en tegenvallers van kunstmatige intelligentie, tot aan ± 2008, kritisch evalueert.

Uit zijn evaluatie licht ik nu de opmerking, die gemaakt werd in verband met conversatieprogramma's en expert-systemen, dat dergelijke systemen in feite berusten op het 'inblikken' van menselijke intelligentie, of anders gezegd dat de intelligentie van dergelijke systemen gekwalificeerd kan worden als 'tweedehands intelligentie' (pagina 173).

Wanneer ik nu de andere voorbeelden van AI de revue laat passeren, die tot op dat moment besproken werden, dan valt op dat deze kwalificatie voor vele voorbeelden opgaat:

- De schaakcomputer 'Deep Blue' kon Kasparov ook alleen verslaan door de in in het systeem ingebouwde intelligentie van schaakwetenschappers, software en hardware ontwikkelaars, die er samen in slaagden om het schaakspel te 'syntactiseren'. Kasparov verloor dus in feite niet van een machine, maar van de gecombineerde intelligenties van vele intelligente medemensen, die vele mensjaren van denkwerk in de software en hardware van deze machine hadden ingebouwd.
- Op vergelijkbare wijze kan een machinale 'Chinese kamer' wellicht ooit aan Chinese gebruikers werkelijk de indruk geven dat deze machine Chinees begrijpt, maar dat is dan te danken aan het gecombineerde intellect dat taalwetenschappers en ingenieurs in deze machine hebben ingebouwd.
- et cetera.

Het gebruikelijke weerwoord van 'strong-AI-gelovigen' is dan, dat de kwalificatie van 'tweedehands-intelligentie' weliswaar opgaat voor systemen die niet beschikken over leervermogen, maar niet opgaat voor systemen die beschikken over een eigen leervermogen. In het laatste geval zouden we het over systemen hebben die zelf hun slimheid kunnen verbeteren en die daarom als 'intrinsiek intelligent' beschouwd zouden mogen worden. Die systemen beschikken op den duur over kennis die er niet van buitenaf is ingebouwd, maar die het systeem zichzelf heeft verworven.

Van de systemen die over leervermogen beschikken bespreekt Copeland 'neuronlike computing' en 'nouvelle AI' (pagina 173-176). Deze lerende systemen berusten op leer-

⁸⁶ In dit verband is het interessant dat De Mul terecht opmerkt dat het weliswaar algemeen gangbaar is om computers als *informatie*-verwerkende systemen te karakteriseren, terwijl het in feite alleen *signaal*-verwerkende systemen zijn (2014, p. 164). Deze algemeen gangbare terminologie is dus al een voorbeeld van de verleidelijke attributie waar Searle op wijst.

principes die van levende systemen zijn afgekeken. Men kan dus stellen dat zij gebaseerd zijn op *modelvorming* van het leren van levende systemen. De systemen die op basis van deze modelvorming ontwikkeld zijn bleken tot indrukwekkende prestaties in staat, zoals gezichtsherkenning, spraakherkenning, of andere vormen van patroonherkenning, en robots die voor ons de planeet Mars verkennen. Toch bleek ook het leervermogen van deze systemen in belangrijke opzichten niet te corresponderen met de biologische realiteit, zelfs niet bij pogingen om het gedrag van een eenvoudige worm of mier te benaderen. Copelands conclusie is dat de machinale modellen, als "*gross simplifications of the real thing*", tekort schieten ten opzichte van de kennelijk hogere complexiteit van levende systemen. Daarom acht hij het een 'mystiek idee' dat hogere gedragsvormen zoals taal, plannen en redeneren ooit zullen emergeren door het volgen van deze lijn van ontwikkeling.

Copeland blijkt hier een gedachtegang te volgen die de valkuilen van reductionisme vermijdt. Als zelfs in de wiskunde modellen al simplificaties blijken te kunnen zijn van "the real thing", ondanks eeuwenlange overtuiging van het tegendeel, hoeveel te meer moeten we er dan rekening mee houden dat machinale modellen simplificaties kunnen zijn van meer complexe levende systemen. Hoe kunnen we er zo zeker van zijn dat we met alle vereenvoudigingen, inperkingen en reorganisaties, die we toepassen om machinale modellen van het leren door levende systemen te kunnen ontwikkelen, geen aspecten 'verwaarlozen' die juist essentieel zijn voor levende systemen?

Copeland sluit zich daarom aan bij de onderzoekers die het streven van 'strong AI' als verspilde moeite beschouwen. Er zijn zoveel nuttige toepassingen van AI te ontwikkelen die niet gebaseerd zijn op pogingen om human intelligence (HI) overbodig te maken, maar op pogingen om het potentieel van HI te vergroten door *aanvulling* met AI, dat men er beter aan doet om zijn energie en vernuft daarin te investeren.

7 KUNNEN MACHINES MET LEERVERMOGEN TOCH INTRINSIEK INTELLIGENT WORDEN?

In het tweede deel van § 3.b (pagina 178 e.v.) is beschreven hoe de laatste jaren weer een opleving te zien geven van het geloof in 'strong AI'. Als voorbeeld werden Bostroms waarschuwingen voor de risico's van superintelligentie besproken, en ook De Muls toekomst-scenario's, waar de reëel geachte mogelijkheid van superintelligentie er één van is.

Recente successen op het gebied van machines met leervermogen hebben kennelijk nieuw voedsel gegeven aan de verwachting, dat machinale intelligentie ooit niet alleen met menselijke intelligentie kan concurreren, maar die ook ver voorbij kan streven.

Daarbij merkte ik op dat Bostrom en De Mul niet de moeite nemen om werkelijk kennis te nemen van de fundamentele twijfel aan die mogelijkheid, zoals die door Searle werd geformuleerd, laat staan om die twijfel te weerleggen. Op deze ommissie heb ik in die paragraaf kritisch gereageerd, om te benadrukken dat Searle's verdediging van de

onherleidbaarheid van semantiek tot syntaxis niet zomaar genegeerd kan worden. De Mul leek die onherleidbaarheid wel te accepteren, maar kwam vervolgens in tegenpraak met zijn eerder geformuleerde opvatting van emergentie (als 'sterke emergentie'). Immers, wanneer men de emergentie van semantische automaten uit syntactische automaten kan *maken*, dan impliceert dit dat men *weet* (vooraf of achteraf) hoe en wanneer een vernuftige organisatie van 'semantisch blind' werkende onderdelen leidt tot een geheel dat wél op semantisch niveau kan functioneren. Maar, wanneer men dat zou weten, dan zou men ook weten hoe het semantisch functioneren van een geheel uit het syntactisch functioneren van delen afgeleid kan worden, en dan zou de emergentie van semantiek uit syntaxis geen emergentie meer zijn. De oorspronkelijk ervaren emergentie zou dan achteraf gezien slechts emergent *geleken* hebben, vanwege een gebrek aan kennis.

Aan deze kritische beschouwing wil ik nu een vervolg geven, omdat de opkomst van machines (of netwerken van machines) met steeds vernuftiger leervermogens kennelijk nieuw voedsel geeft aan de verwachting dat de voortschrijdende technologie toch kan leiden tot de komst van kunstmatige intelligentie die menselijke intelligentie geheel kan vervangen en voorbijstreven. Toegegeven moet worden dat lerende systemen inderdaad bijzondere prestaties leveren. De informatie die in een dergelijk systeem is opgeslagen wordt voortdurend verder uitgebreid, en bovendien worden er door het systeem, zonder ingrijpen van buitenaf, voortdurend nieuwe vormen van orde en samenhang in die informatie ontdekt en toegevoegd. Gaat dit dan toch in de richting van systemen die autonoom kennis ontwikkelen? De praktijk lijkt de theoretische bezwaren van Searle en anderen te falsifiëren. Daarom wil ik nu ingaan op de vraag die in de kop van deze subparagraaf wordt gesteld: *kunnen machines met leervermogen intrinsiek intelligent worden?*

Het antwoord op deze vraag zal ik in twee stappen bereiken. De eerste stap zal bestaan uit een analyse van de organisatie en de organisatie-ontwikkeling van kunstmatig intelligente systemen met leervermogen. Die analyse leidt tot het formuleren van kenmerken van organisatie(-ontwikkeling) die deze systemen hebben *omdat* zij kunstmatig, ofwel ontworpen, zijn. De tweede stap zal bestaan uit een argumentatie in het verlengde van Searle's argumentatie, die zal uitlopen op de conclusie dat er geen enkele aanleiding is om te verwachten dat lerende systemen met deze kenmerken ooit intrinsiek intelligent zullen worden.

7.a Kenmerken van machines met leervermogen

De eerste stap is geïnspireerd op Rosens hypothese dat er kenmerken zijn waaraan men kan herkennen dat een organisatie een machine-organisatie is, in onderscheid van de organisatie van een niet-kunstmatig levend systeem. Die kenmerken moeten samenhangen met het essentiële kenmerk van een machine, dat deze *gemaakt* is. Als '*maaksel*' moet een machine in zijn organisatievorm (of in zijn organisatie-ontwikkeling) sporen tonen

van machine-externe *makers*⁸⁷. Bij neurowetenschappers en hersenonderzoekers kan men verwante hypothesen tegenkomen. Stam c.s. betogen bijvoorbeeld dat de computer-metafoor voor het onderzoek naar de werking van hersenen een tijdlang vruchtbaar is geweest, maar dat deze onderzoeksrichting tegenwoordig een graad van verzadiging begint te bereiken en weinig nieuwe perspectieven meer te bieden heeft (2010, pp. 256-257). Het verschilpunt waarop de computer-metafoor mank gaat karakteriseren zij als het verschil tussen *ontwerp* en *ontwikkeling* (2010, pp. 228-229). Een mechanisch systeem zoals een computer draagt in zijn organisatie altijd de sporen van een extern ontwerp, terwijl hersenen en andere levende systemen dergelijke sporen nu juist missen, omdat deze systemen slechts getuigen van zich vanzelf ontwikkelende wordingsprocessen (die ik in één woord zou karakteriseren als *groeiprocessen*) waar geen ontwerp achter zit⁸⁸. Het onderscheid dat machines in hun organisatie sporen tonen van *ontwerp*, en dat levende systemen alleen sporen tonen van *groei* spreekt mij aan, als een plausibele aanname die de moeite waard is om verder te exploreren.

De plausibiliteit van deze aanname werd voor mij bevestigd in een gesprek met een AI-onderzoeker, die ik uitvroeg over de achterliggende principes volgens welke AI (vooral toegespitst op lerende systemen) zich de laatste jaren ontwikkelt⁸⁹. Mijn behoefte om na te gaan of die ontwikkeling al dan niet de hierboven beschreven vermoedens zou weerspreken of bevestigen, vormde een belangrijke achtergrond bij dit gesprek. Naar aanleiding daarvan maakte ik onderstaande voorstelling van de ontwikkeling van AI, en van de ontwikkeling van lerende systemen in het bijzonder.

⁸⁷ Daarbij citeert Rosen Voltaire's "*a clock argues a clockmaker*" (1991, p. 246), een argument dat Voltaire gebruikte om zijn opvatting van 'natuurlijke religie' te verdedigen (wellicht afkomstig uit *Poèmes sur la religion naturelle* ..., 1756).

⁸⁸ Uiteraard vinden we in ieder levend systeem sporen van groeiprocessen van vorige generaties, maar dat moeten dan herkenbaar andersoortige sporen zijn.

⁸⁹ Met dank aan Tijmen Tieleman, met wie ik dit gesprek voerde op 18 februari 2011.

Figuur 15

Generaties van kunstmatige intelligentie

4	Hardware (met geheugen) onveranderlijk operator	Train de trainer programma onveranderlijk operator	Trainer programma veranderlijk operandum & operator	Leerling programma veranderlijk operandum & operator	Data veranderlijk operandum	Diep Lerende Machine
3	Hardware (met geheugen) onveranderlijk operator	Trainer programma onveranderlijk operator		Leerling programma veranderlijk operandum & operator	Data veranderlijk operandum	Lerende Machine
2	Hardware (met geheugen) onveranderlijk operator	Programma virtuele hardware onveranderlijk operator			Data veranderlijk operandum	Universele Turing Machine
1	Hardware (met geheugen) onveranderlijk operator	Software (= data) veranderlijk operandum				Turing Machine

Toelichting:

- Het onderste niveau stelt de eerste generatie van AI voor. Dit zijn machines die één taak kunnen uitvoeren, die ook met behulp van 'natuurlijke' intelligentie uitgevoerd kan worden. Een voorbeeld vormt de telmachine die steeds een vorig totaal onthoudt en daar een volgende input bij optelt. De software is dan de stroom van getallen die wordt ingevoerd, en de hardware is het machinale mechanisme dat bewerkstelt dat de gewenste bewerking op de getallen wordt uitgevoerd. De eenvoudige Turing Machine is de formele beschrijving van een dergelijk systeem. Kenmerkend is de strikte functieverdeling tussen hardware en software. Software is het veranderlijke deel van het systeem dat bewerkt wordt (het operandum). Hardware is het onveranderlijke deel van het systeem dat de bewerking bewerkstelt (de operator). De hardware belichaamt de syntactisering (digitaal of mechanisch) van die ene taak die dit systeem kan uitvoeren.
- Het tweede niveau stelt de tweede generatie van AI voor. Dit zijn de programmeerbare machines die verschillende taken kunnen uitvoeren. De meeste op dit moment in gebruik zijnde computersystemen zijn voorbeelden hiervan. Kenmerkend is, dat de software nu is opgedeeld in het veranderlijke deel van data die bewerkt worden (operandum) en een onveranderlijk deel waarin bepaald is hoe data bewerkt worden (operator). De Universele Turing Machine is de formele beschrijving van een dergelijk systeem. Kenmerkend blijft de strikte functieverdeling tussen een veranderlijk deelsysteem dat bewerkt wordt (de data, het operandum) en onveranderlijke deelsystemen die de bewerking reguleren (hardware en programma, de operatoren). Dit systeem berust op syntactisering op twee niveaus: de hardware belichaamt syntactisering van zeer elementaire logische bewerkingen

- op symbolen, en een programma belichaamt syntactisering van de taak van het systeem in termen van de basisoperaties die de hardware kan uitvoeren.
- Het derde niveau stelt de eerste generatie van lerende systemen voor. Een voorbeeld daarvan vormt de website van Amazon, die een klant aanbevelingen voorschotelt in de trant van "klanten die dit boek kochten, kochten ook ...". Dat het systeem 'weet' welke andere boeken ook in de smaak vielen bij die andere klanten, berust op een leerproces dat conclusies afleidt uit analyses van eerdere transacties, en deze conclusies blijft verbeteren op grond van volgende transacties. Kenmerkend voor deze AI-generatie is, dat het programma nu opgedeeld is in een veranderlijk en een onveranderlijk deel. Het onveranderlijke deel, het 'trainer programma', bepaalt hoe het programma verandert, ofwel 'leert'⁹⁰. Het veranderlijke deel, het 'leerling programma', bepaalt hoe de data veranderen. Het gehele systeem berust nog steeds op strikte functieverdelingen tussen operatoren en operanden, waarbij er nu echter één deelsysteem is, het 'leerling programma', dat ten opzichte van één ander deel een operandum is en ten opzicht van één ander deel een operator is. Het systeem als geheel berust op drie niveaus van syntactiseren, c.q. formaliseren: de syntactisering van elementaire basisoperaties, de syntactisering van een taakuitvoering, en de syntactisering van verbetering van die taakuitvoering.
 - Het is te verwachten dat men nog heel lang op deze weg verder kan gaan. Een vierde niveau van systemen die ook kunnen leren-leren kondigt zich al aan, dat wil zeggen: systemen waarin ook geformaliseerde vormen van het verbeteren van leerprocessen zijn ingebouwd. En na de ontwikkeling van deze systemen waarin een tweede-orde niveau van leren is ingebouwd, kunnen er systemen komen waarin een derde-orde niveau van leren is ingebouwd, en zo voorts.

De vraag die nu op grond van het bovenstaande beantwoord kan worden luidt: kan ik uit de organisatie van deze lerende systemen aflezen dat zij berusten op ontwerp-processen en niet op groeiprocessen? Mede in navolging van Rosens *Life Itself* kunnen hierop de volgende antwoorden gegeven worden:

1. Een belangrijk en blijvend kenmerk van de verschillende generaties, vormen de strikte functiescheidingen tussen deelsystemen. Dat begint al bij de functiescheiding tussen hardware en software, waarbij hardware alleen de functie van onveranderlijke operator vervult. Dit kenmerk is een spoor van ontwerp-processen, omdat het

⁹⁰ In kringen van AI-ontwikkelaars worden verschillende soorten van 'leren' onderscheiden die door een 'trainer programma' gereguleerd worden. De meest geavanceerde en meest 'open' vormen van leren zijn gebaseerd op verdere ontwikkelingen van het al eerder genoemde 'neuronlike computing' (pagina 173) of 'nouvelle AI' (pagina 174). Deze vormen van leren maken bijvoorbeeld geavanceerde vormen van patroonherkenning mogelijk, of het leren lopen 'met vallen en opstaan' bij robots. Wat blijft in al die ontwikkelingen is, dat de manier van leren (ook al is die 'open') exact gedefinieerd moet worden om in software vertaald, ofwel gesyntactiseerd, te kunnen worden.

laat zien dat ontwerpers aan deelsystemen welbepaalde deelfuncties moeten toekennen om met de 'som' van die deelfuncties precies de gewenste functie van het geheel te kunnen realiseren. In levende systemen, zoals een brein, fungeert bijvoorbeeld de 'hardware' die bestaat uit neuronen en verbindingen, niet alleen als operator maar ook als een veranderbaar operandum. En, zoals onder anderen Rosen betoogt, dit geldt voor vele deelsystemen in levende organismen: de functies die zij vervullen zijn in het algemeen minder afgebakend dan in machine-organisaties (a.w., hoofdstuk 8-11).

2. Een ander kenmerk van de AI-systemen is, dat er een welbepaald deelsysteem is waar het hoogste niveau van regie gezeteld is, en dat juist die regie gevoerd wordt op grond van systeem-extern bepaalde criteria. Ook dit kenmerk verraadt de achtergrond van een ontwerp. De resultaten van het leren door lerende systemen zijn onvoorspelbaar omdat deze systemen reageren op inputs die onvoorspelbaar zijn. Wil men verzekeren dat deze resultaten overeenkomen met de criteria voor goed en slecht die voor de makers gelden, dan moeten zij hun hoogste criteria inbouwen in een hoogste regievoerend deelsysteem dat niet door de machine zelf of door zijn inputs veranderd kan worden⁹¹. Dit in onderscheid van levende systemen, waarin het sturen op centrale waarden zoals levensbehoud, levensvoortzetting en levensvernieuwing een functie is die niet gelokaliseerd kan worden in één regievoerend deelsysteem, maar een functie is die al in de kleinste deelsystemen belichaamd is⁹². Als een levend organisme een centraal zenuwstelsel of brein heeft, dan vervult dit deelsysteem eerder een dienende en coördinerende functie dan dat de sturing op basis van hoogste criteria daar gelokaliseerd is (Damasio, 2010). Uit de kenmerken 1 en 2 samen kan geconcludeerd worden dat de organisatie van geheel en delen in een levend systeem complexer is dan de betrekkelijk simpele organisatie waar machines op gebaseerd zijn. In het verlengde daarvan kan geconcludeerd worden dat de gevolglichheid die zich in levende systemen manifesteert complexer is dan de betrekkelijk simpele gevolglichheid waar de werking van machines op gebaseerd is⁹³.
3. Een derde kenmerk waaraan de tussenkomst van externe ontwerpers afgelezen kan worden, is het spronggewijze karakter van de overgangen tussen generaties. Dit ka-

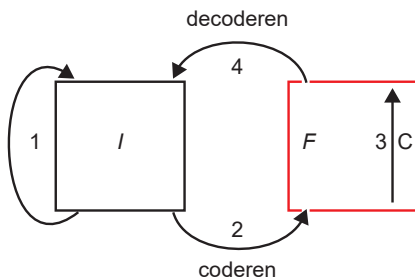
⁹¹ Dit argument wordt ook aangevoerd door (Nauta & Fleischhacker, 1998, p. 74). De auteurs betogen dat technologie per definitie gericht is op het controleren van natuurlijke processen, en niet op het ontwerpen van processen die van meet af aan 'out of human control' zijn. Daarnaast onderschrijven zij Searle's argument, dat een computer symboolverwerking alleen kan simuleren door symbolen te reduceren tot signalen.

⁹² Zie ook Damasio's voorbeeld van het verschil tussen de organisatie van een Boeing 777 en een levend organisme (2010, p. 62). Sturing op 'homeostatische regels' is bij een levend wezen terug te vinden tot in de kleinste deelsystemen, die zelf ook levende organismen zijn.

⁹³ Rosen komt tot een overeenkomstige conclusie, op grond van een veel grondiger argumentatie dan hier weergegeven kan worden (1991, § 9.F).

rakter hangt samen met de wijze waarop die overgangen steeds plaats vinden. De gang van zaken is immers, dat menselijke ontwerpers eerst een bepaalde functionaliteit, zoals 'leren', in vereenvoudigde vorm veruitwendigen in een symbolisch taalmodel (een theorie) en/of in een technisch-machinaal model. Pas daarna komen menselijke ontwerpers in staat om zodanig *over* het veruitwendigde niveau na te denken dat zij een 'hoger' niveau kunnen ontwikkelen. Zodra bijvoorbeeld 'leren' duidelijk genoeg vereenvoudigd en veruitwendigd is in taal en/of in artefacten, kan een 'hoger concept' zoals 'leren-leren' of 'verbeteren van leren' bij ontwerpers opkomen, en opnieuw in vereenvoudigde vorm veruitwendigd worden. Daardoor verschijnen er na de eenvoudige lerende machines 'ineens' machines waarin een hoger niveau van leren is ingebouwd. Op deze wijze dragen de opeenvolgende generaties van machine-organisatie de sporen van overgangen naar 'hogere' niveaus, die misschien wel emergent genoemd kunnen worden, maar die emergentie heeft niet in de machines zelf, maar in het bewustzijn van ontwerpers plaats gevonden. Door de tussentijd, die de ontwikkeling naar een nieuw niveau in het bewustzijn van systeem-externe ontwerpers vraagt, hebben de overgangen tussen generaties van AI-systemen een sprongsgewijs karakter. In tegenstelling daarmee verlopen in de evolutie van levende systemen de overgangen naar meer complexe systemen zonder tussenkost van plan of ontwerp, en zonder tussentijd, volgens minuscuul kleine tussenschappen.

Figuur 16



7.b Lerende machine als gereorganiseerde isoleercel

Als tweede stap zal ik nu een lerende machine beschouwen als 'isoleercel' (pagina 132), of daarmee gelijkwaardig, als 'Chinese kamer' (pagina 165).

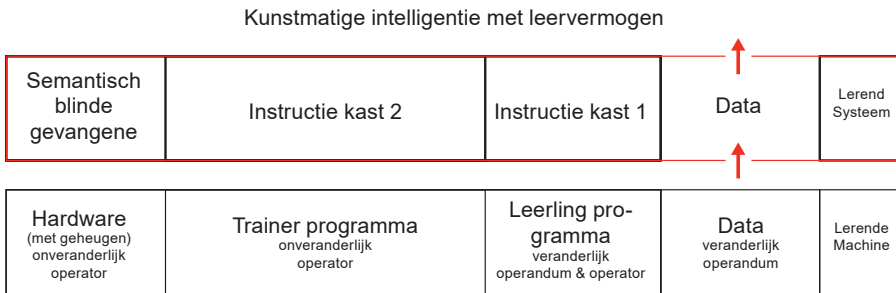
Om te benadrukken dat bij wiskundig-formele modelvorming, *binnen* het model alleen zuiver syntactische bewerkingen op gegevens worden toegepast, vergeleek ik de werkwijze van een model met die van een geïsoleerde die geïsoleerd is van elk contact met de buitenwereld, die door een ingangsluikje symbolen toegeschoven krijgt waar hij niets van begrijpt, die daarop 'blind gehoorzaam' volgens instructie bewerkingen toepast die hij ook niet begrijpt, en die daarna het resultaat weer door het uitgangsluikje

naar buiten schuift. De output fungeert pas aan het uitgangsluikje weer als 'informatie'⁹⁴ voor een lezer die de symbolen in hun semantische betekenis begrijpt als een uitspraak over systeem *I*.

Op grond van de stelling van Church en Turing (pagina 150 e.v.) kan de syntactisch geïsoleerde (c.q. 'semantisch blinde') werkwijze die in een wiskundige redenering tot uitdrukking komt, ook door een machine uitgevoerd worden. Op grond daarvan kon Searle de taakuitvoering door een computer (of robot) weer vergelijken met de taakuitvoering door een blind gehoorzame ambtenaar in een 'Chinese kamer'.

Tegen de achtergrond van deze overwegingen heb ik in onderstaande figuur 17 het gedeelte uit figuur 15 (pagina 198) dat betrekking had op een lerende machine 'vertaald' naar een isoleercel (of Chinese kamer) die ingericht is met kasten waaruit instructies gehaald moeten worden door de gevangene (of de ambtenaar).

Figuur 17



De werkwijze van een kunstmatig intelligent systeem met leervermogen kan nu vergeleken worden met een gevangene die nog steeds aan het ingangsluikje briefjes binnenkrijgt met krabbels waar hij niets van begrijpt, en die hij 'blind' verwerkt volgens instructies die hij uit kast 1 haalt. Wat er nu echter bij komt (denk aan het Amazon voorbeeld op pagina 199) is, dat hij de briefjes die hij binnenkrijgt en naar buiten brengt kopieert en in kast 2 bewaart. Wanneer hij een bepaald aantal van die briefjes in kast 2 verzameld heeft moet hij op die briefjes een bewerking toepassen volgens instructies uit kast 2, en vervolgens op de uitkomst van die bewerking een vervolgbewerking volgens instructie uit kast 2 toepassen, die ertoe leidt dat hij iets verandert aan de instructies in kast 1. Op de briefjes die daarna binnenkomen zal hij de veranderde instructies uit kast 1 toepassen. En net zoals de omstanders van de Chinese kamer verbaasd reageerden "dat deze kamer werkelijk Chinees begrijpt", zullen de omstanders nu verbaasd reageren "dat deze computer werkelijk iets geleerd heeft".

⁹⁴ 'Informatie' wordt hier opgevat in de zin die Gregory Bateson bedoelde met zijn fameuze definitie "*information is a difference that makes a difference*" (1970).

Het zal duidelijk zijn dat ook de overgang naar een machine waarin leren-leren is ingebouwd geen principiële verandering brengt. De inrichting van de isoleercel (Chinese kamer) wordt ingewikkelder omdat er nog een kast bij komt. Maar, een toenemende ingewikkeldheid van deze soort zal nooit leiden tot een sprong in complexiteit waardoor de 'semantisch blind' operende gevangene (ambtenaar) ineens wel de betekenis van de 'krabbels'⁹⁵ gaat begrijpen. Het cruciale kenmerk dat dit verhindert is het blijvende isolement van de buitenwereld en van de intelligentie van de programmeurs in die buitenwereld. De isoleercel blijft een isoleercel.

Om de betekenis te begrijpen van de output van een lerende machine, of dat nu de 'krabbels' zijn die een computer als output levert, of de acties van een robot, is nog steeds een niet-kunstmatige intelligentie nodig. Alleen een 'natuurlijke intelligentie' kan de intelligentie van externe auteurs (net als bij een boek), bij zichzelf 'interpreterend reproduceren' (pagina 164). De intelligentie die een gebruiker herkent is de intelligentie van afwezige ontwerpers, en niet van de machine zelf.

Conclusie: ook een machine met leervermogen heeft slechts afgeleide, of metaforische, intelligentie, en geen intrinsieke intelligentie.

Hiermee is de vraag, die in de kop van deze paragraaf gesteld werd (pagina 195), opnieuw beantwoord. Het lijkt mij goed om aan dit antwoord nog enkele opmerkingen toe te voegen:

- Gesprekken met leerlingen over dergelijke vragen lijken mij zeker relevant voor hun vorming. Ook zij zijn vatbaar voor overschatting van de prestaties van digitale media en -apparaten, en vatbaar voor onderschatting van de risico's. In het omgaan daarmee kunnen zij ook negatieve ervaringen opdoen. Dergelijke negatieve ervaringen kunnen omgezet worden in positieve inspiratie, wanneer zij ontdekken dat zij niet alleen kunnen leren omgaan met de mogelijkheden, maar ook met de beperkingen en valkuilen van deze media en apparaten. Daarbij lijkt mij de hierboven toegepaste benadering, met behulp van de metaforen van isoleercel en Chinese kamer, in principe goed vertaalbaar naar het niveau van leerlingen in de bovenbouw van het voortgezet onderwijs. Met behulp van deze betrekkelijk eenvoudige metaforen kunnen ook zij de inspirerende ervaring opdoen van het ontmaskeren van reductionistische mythen waar zelfs sommige knappe koppen niet tegen bestand zijn.
- Het ontmythologiseren van de vermeende risico's van superintelligentie schept ook ruimte om met leerlingen gesprekken te voeren over, en (erop voor te bereiden om) praktisch te leren omgaan met reële risico's van kunstmatige intelligentie, zoals:

⁹⁵ De 'krabbels kunnen strikt genomen zelfs geen 'symbolen' genoemd worden, omdat een symbool per definitie een teken is dat een betekenis heeft. Zoals ik eerder van De Mul citeerde, kan een dergelijke machine strikt genomen niet alleen geen *informatie*-verwerkende machine genoemd worden, maar ook geen *symbol*-verwerkende machine, op zijn hoogst alleen een *signaal*-verwerkende machine (zie voetnoot 86 op pagina 194).

- + het verdwalen in overdoses van beschikbare informatie;
 - + de verslavende werking die sommige media en apparaten op mensen kunnen uitoefenen;
 - + de vormen van 'boze opzet' die door intelligente ontwerpers in AI-apparaten ingebouwd kunnen worden (denk aan commerciële partijen die aan verslaving of aan andere menselijke zwakheden geld willen verdienen, of aan gewetenloze gebruikers van autonome wapensystemen, zie pagina 176, et cetera ...);
 - + de risico's van de ondoorzichtigheid van de werking van apparaten waar wij in belangrijke zaken op vertrouwen, zie pagina 177;
 - + de kostbare en schadelijke fouten die bijna onvermijdelijk door AI-systemen gemaakt worden (denk er bijvoorbeeld aan dat 'lerende systemen' berusten op vereenvoudigde vormen van denken en leren, die kunnen berusten op 'blinde vlekken' van ontwerpers);
 - + het risico dat ook ge-automatiseerde leerprocessen kunnen ontaarden in vormen van 'obsessief gedrag', dat bij apparaten nog hardnekkiger zal zijn dan bij mensen;
 - + et cetera.
- De teneur van die gesprekken zal erop neerkomen dat het voor ieder, leraar of leerling, een belangrijk leerproces is om creatief vorm te leren geven aan het gebruik van kunstmatige intelligentie, en aan het kritisch leren vertrouwen op kunstmatige intelligentie wanneer we daaraan taken uitbesteden.

Een leraar wiskunde kan bovendien aan de praktijk van wiskunde-beoefening positieve voorbeelden ontlenuen, en deels ook door leerlingen zelf laten ervaren, van inspirerende samenwerking tussen machinematig en niet-machinematig denken. Om duidelijk te maken hoe dat in principe mogelijk is zal ik in de volgende paragraaf terugkomen op het thema van wiskunde en intuïtie.

8 WISKUNDE EN INTUÏTIE

Het thema van wiskunde en intuïtie is in het voorafgaande al wel aan de orde geweest, maar onvoldoende om aan de hand van voorbeelden duidelijk te maken hoe wiskundigen zich binnen hun eigen discipline een vruchtbare samenwerking tussen machinematig en niet-machinematig denken voorstellen, en hoe zij dit in de praktijk toepassen. Daarom zal deze paragraaf beginnen bij samenvattingen van wat er over dit thema al aan de orde is geweest. Aan de hand van deels nieuwe voorbeelden zal vervolgens toegelicht worden hoe het bewijzen van een stelling de vrucht is van twee verschillende denkwijzen, en hoe de kracht van kunstmatige intelligentie ook binnen de wiskunde vruchtbaar ingezet kan worden. Tenslotte zal belicht worden hoe wiskundigen creatieve intuï-

tie⁹⁶ als een onmisbare fase in hun werkwijze ervaren, en welke suggestie zij daaruit afleiden voor het onderwijs.

8.a Machinematig en creatief denken

De stelling van Church en Turing vormde de eerste aanleiding om wiskunde in verband te brengen met machinematig denken (pagina 150-155). Church en Turing formuleerden de werkhypothese dat iedere effectieve procedure, die door een blind gehoorzame klerk uitgevoerd kan worden, alleen met behulp van potlood en papier, ook door een machine uitgevoerd kan worden. Bij 'effectieve procedure' dachten zij aan de streng-logisch-formele stapsgewijze werkwijze van wiskundige berekeningen en bewijzen. Wanneer hun stelling juist is, dan moet een streng-wiskundig geformuleerde berekening of bewijs zowel door een blind gehoorzame klerk, als door een machine uitgevoerd kunnen worden. 'Machinematig' karakteriseert dus een werkwijze die door sterk ingeperkte mensen uitgevoerd kan worden, en waarvan vermoed wordt dat die in principe altijd ook door machines uitgevoerd kan worden. Dit vermoeden wordt ondertussen niet meer betwijfeld omdat er nog nooit een tegenvoorbeeld gevonden is.

Deze stelling uit de 30er jaren van de vorige eeuw stond aan het begin van de stormachtige ontwikkeling van computers die daarna op gang kwam. Aan de hand van de discussie tussen Nagel en Newman enerzijds en Hofstadter anderzijds werd geïllustreerd op grond van welke argumenten sommigen betoogden dat computers nooit het creatieve werk van wiskundigen zouden kunnen overnemen, en anderen argumenteerden dat zij geen redenen konden bedenken waarom computers dat uiteindelijk niet zouden kunnen doen. Daarbij gaf ik zelf aan dat het voor mij doorslaggevende argument erop neerkomt dat formalisering eerst op niet-machinematige wijze, intuïtief uitgevonden moeten worden, voordat er de vorm aan gegeven kan worden van een streng-wiskundige, machinematig uitvoerbare berekening of redenering. Het is daarom te verwachten dat wiskunde nooit het creatieve, 'artistieke' aspect van haar werkwijze zal kunnen missen (pagina 156-161).

8.b Het bewijs als vrucht van twee denkwijzen

Onnoemelijk veel bewijzen van stellingen berusten op de synthese van de twee wijzen van denken, de machine-matige en de creatief-intuïtieve wijze van denken. Veel van die

⁹⁶ De uitdrukking 'creatieve intuïtie' wordt hier met opzet gebruikt om de hier bedoelde betekenis van 'intuïtie' te onderscheiden van een andere betekenis die in wiskundige kringen ook voorkomt. 'Intuïtie' wordt ook gebruikt in de betekenis van 'schouwen', als een bijzondere vorm van innerlijk waarnemen (zie ook voetnoot 39 op pagina 137). 'Intuïtie' wordt hier echter gebruikt als term voor het creatieve, niet-machinale innerlijke proces waarop wiskundigen (en anderen) vertrouwen om, bij afwezigheid van stapsgewijs uitvoerbare recepten, toch oplossingen voor problemen te vinden.

stellingen en bewijzen dragen de naam van een beroemde wiskundige. Dit vernoemen danken deze wiskundigen niet aan hun vermogen om machinematig te denken, maar aan hun vermogen om bij voorbaat al intuïtief zeker te zijn van de juistheid van een stelling, of om op onnavolgbaar intuïtieve wijze een bewijs te vinden. Een klassiek voorbeeld is de stelling van Pythagoras. De stelling zelf was al lang vóór Pythagoras bekend, maar het vinden van het eerste bewijs werd aan de unieke genialiteit van Pythagoras toegeschreven⁹⁷. Een mooie illustratie van de machinematige wijze van denken, avant la lettre, bood het al eerder genoemde verslag van de wijze waarop Socrates een slaaf de stelling van Pythagoras laat bewijzen (pagina 135). Hoewel Plato het waarschijnlijk anders bedoelde, kan dit verslag gelezen worden als illustratie van een denkwijze die door een gehoorzame slaaf gevolgd kan worden, wanneer deze maar de juiste instructies krijgt. Denkend aan dit voorbeeld kan de wiskundig-machinematige denkwijze ook als '*slaafs*' gekarakteriseerd worden. De twee denkwijzen hangen samen omdat de onnavolgbaar creatief-intuïtieve denkwijze gericht is op het vinden van een slaafs navolgbare reeks van denkstappen.

Een recent voorbeeld is het vinden van het bewijs van de laatste stelling van Fermat. Deze stelling is een variant op de stelling van Pythagoras, $x^2 + y^2 = z^2$. Deze vergelijking heeft een aantal oplossingen in gehele getallen, zoals het bekende $3^2 + 4^2 = 5^2$. Fermat vermoedde dat een dergelijke vergelijking geen oplossingen in gehele getallen meer heeft wanneer men de kwadraten vervangt door hogere machten, zoals $x^3 + y^3 = z^3$, of in het algemeen $x^n + y^n = z^n$. Hij noteerde dit vermoeden in 1637 als stelling, en vermeldde daarbij dat hij een prachtig bewijs voor deze stelling gevonden had. Helaas nam hij niet de moeite om dit 'prachtige bewijs' netjes uit te werken. Zijn zoon publiceerde deze notities postuum in 1670. Van het bewijs dat Fermat beweerde gevonden te hebben kon echter niets teruggevonden worden (1997, pp. 64-70). Singh beschrijft vervolgens in zijn boek hoe wiskundigen eeuwenlang vergeefs probeerden om een bewijs voor deze stelling te vinden. Pas in de 20e eeuw slaagde Andrew Wiles er tenslotte in om deze opgave tot een goed einde te brengen. Het kostte hem echter wel 8 jaar van noeste wiskundige arbeid, en Singh beschrijft indrukwekkend hoe die arbeid een synthese was van het creatieve volgen van invallen, metaforen en analogieën, en anderzijds het nauwkeurig bestuderen van het werk van vele collega's, en het precies uitwerken van vele (pogingen tot) deelbewijzen. Het was een proces dat voor het grootste deel bestond uit gedisciplineerd hard werken, en voor een kleiner -maar essentieel- deel uit intuïtieve fases. Daarbij bleek intuïtie zeker niet onfeilbaar -het leidde soms tot het inslaan van doodlopende paden. Maar zonder intuïtie was Wiles er zeker niet gekomen. Het uitschrijven van zijn bewijs kostte hem uiteindelijk 130 pagina's.

⁹⁷ Zie (Encyclopaedia_Britannica, 2015).

Een eigentijds voorbeeld, dat laat zien hoe wiskundigen tegenwoordig ook de rekenkracht van computers inschakelen, biedt het vinden van het bewijs voor de vierkleurenstelling. Ook het proces dat tot het vinden van dit bewijs leidde is door Singh beschreven (1997, pp. 318-329). De vierkleurenstelling is in 1852 als vermoeden geformuleerd door Guthrie, en gaat over de vraag hoeveel verschillende kleuren voldoende zijn om een landkaart te kunnen maken, zodanig dat iedere grens tussen gebieden gemarkeerd is door verschillende kleuren. Guthrie vermoedde al dat vier verschillende kleuren voldoende zouden zijn, maar de moeilijk opgave is uiteraard om dit te bewijzen voor *alle mogelijke* configuraties van landkaarten. Ook bij deze opgave werden er ruim een eeuw lang vele vergeefse pogingen ondernomen om deze stelling te bewijzen. Pogingen die er overigens in belangrijke mate aan bijdroegen dat een nieuw deelgebied van wiskunde, de topologie, tot ontwikkeling kwam. Omdat dit probleem (naast andere problemen) niet binnen de bestaande meetkunde opgelost kon worden, moest er wiskundig creatief een nieuwe tak van geometrie ontwikkeld worden⁹⁸. Begin 70er jaren konden Haken en Appel tenslotte bewijzen dat het oneindige van alle denkbare kaarten geconstrueerd kan worden uit een eindig aantal basiskaarten. Wanneer men nu bij al die basiskaarten zou kunnen bewijzen dat er niet meer dan vier kleuren nodig zijn, dan zou de vierkleurenstelling ook voor alle denkbare kaarten bewezen zijn. Het probleem was alleen dat zij uitkwamen op 1482 basiskaarten. Het vinden van een bewijs voor elk van die 1482 kaarten zou -op de traditionele manier- vele mensenlevens van wiskundigen moeten kosten. Haken en Appel sloegen vervolgens een geheel nieuwe weg in, met de gedachte dat het misschien mogelijk zou zijn om deze laatste taak aan computers uit te besteden. Daarvoor was het uiteraard nodig dat zij een 'standaard procedure' konden uitvinden die computers op elk van de 1482 basiskaarten konden loslaten. Zij investeerden vervolgens ruim 5 jaar van noeste arbeid om een dergelijke standaard procedure uit te vinden, en om die in een computerprogramma te vertalen. Ook dit proces vroeg de vruchtbare combinatie van hard en precies werk enerzijds, en intuïtie anderzijds. Bij de eerste versie van hun programma konden zij berekenen dat zij een eeuw aan computertijd nodig zouden hebben, maar na nog een jaar van hard en creatief werken aan short-cuts en leerstrategieën beschikten zij over een programma dat de klus in 1200 uur rekentijd kon klaren. Zodoende werd in 1976 tenslotte het bewijs van de vierkleurenstelling geleverd.

Het uitbesteden van een deel van hun wiskundige werk aan de computer leverde aan Haken en Appel bijzondere ervaringen op. Zij zagen bijvoorbeeld tot hun verbazing dat het programma, dankzij de door hen ingebouwde leerstrategieën, soms wegen insloeg waar zij wellicht zelf -ook intuïtief- niet aan gedacht zouden hebben. "*Thus it began to teach us things about how to proceed that we never expected. In a sense it had surpassed its creators in some aspects of the 'intellectual' as well as the mechanical aspects of the task.*" (1997, p. 326).

⁹⁸ Om het bijzondere karakter van topologie beeldend te karakteriseren wordt zij wel beschreven als 'rubber sheet geometry'.

Maar, in plaats van door te schieten naar fantasieën over het overbodig maken van wiskundigen, of het ontstaan van digitale superintelligentie, maakt Haken later een ont-nuchterende kanttekening bij het gebruik van computers voor de wiskunde: "*Anyone, anywhere along the line, can fill in the details and check them. The fact that a computer can run through more details in a few hours than a human could ever hope to do in a lifetime, does not change the basic concept of mathematical proof.*" (1997, p. 328). Deze kanttekening lees ik in de context van de eerder vermelde evidente omkering van de stelling van Church en Turing (pagina 155-155). Alles wat een computer kan doen, kan ook door een gehoorzame klerk of slaaf (die juist zijn intelligentie *uitschakelt*) uitgevoerd worden. Het enige verschil is, dat die klerk of slaaf een bovenmenselijke hoeveelheid tijd nodig zou hebben om te doen wat de computer in korte tijd uitvoert. De verbazingwekkende intelligentie die af te lezen is uit de resultaten die een computer kan opleveren, is niet afkomstig van de computer zelf. Die intelligentie is afkomstig van de slimme ontwerpers, die op basis van hard werk én creatieve intuïtie de taakuitvoering door de computer zodanig slim georganiseerd hebben, dat zijn 'brute rekenkracht' een nuttige (soms onmisbare) bijdrage levert. Er is dus, zo gezien, niets onmenselijks aan de intelligentie van *elke* computer, maar dan alleen in de zin waarin er niets onmenselijks is aan de intelligentie van elk boek, of aan de intelligentie van elk ander artefact dat door mensen vervaardigd is.

8.c Intuïtie als fase van de wiskundige werkwijze

De studies die gewijd zijn aan de rol van creatieve intuïtie bij wiskundig onderzoek zijn niet groot in aantal, maar wel verhelderend. In zijn recente studie over wiskundig denken geeft Ton Langendorff daarvan een overzicht (2015, pp. 89-101). Aan het begin van de 20e eeuw verschenen enkele studies, waaronder die van Henri Poincaré de meeste indruk maakten⁹⁹. In de 40er jaren van de 20e eeuw stuurde Jacques Hadamard een vragenlijst rond onder beroemde wiskundigen, en publiceerde in 1945 de resultaten¹⁰⁰. Aan het begin van deze eeuw ondervroeg Leone Burton 70 Engelse wiskundigen¹⁰¹, en Peter Liljedahl ondervroeg niet alleen 25 prominente wiskundigen, maar onderzocht ook 76 werkstukken van Pabo-studenten¹⁰². Tenslotte interviewde Ton Langendorff (2015) 12 Nederlandse wiskundigen.

Langendorff ontleent aan deze studies en onderzoeken veel bevestiging voor een globaal fasenmodel dat door Poincaré werd geformuleerd. Dit model betreft de werkwijze die

⁹⁹ *Soals Intuition and Logic in Mathematics* (1907) en *Mathematical creation* (1910).

¹⁰⁰ *The Psychology of Invention in the Mathematical Field* (1945).

¹⁰¹ *Mathematicians as Enquirers. Learning about Learning Mathematics* (2004).

¹⁰² *The AHA! Experience. Mathematical Contexts, Pedagogical Implications.* (2008).

wiskundigen in grote lijnen volgen wanneer zij een probleem oplossen waarvoor geen standaardmethode beschikbaar is (2015, pp. 74-75, etc.).

- a. Het begint met de *voorbereiding*. Ook al is er voor deze fase geen standaardmethode, het is wel een fasen van hard werken. Het gaat om een 'inwerkfase' in het probleem. Verschillende invalshoeken worden beschouwd om uit te vinden welke aanpakken perspectief kunnen bieden. Publicaties van collega's werden bestudeerd, er wordt op een schoolbord gekliederd, en er worden gesprekken gevoerd. Indien mogelijk kunnen computerprogramma's gebruikt worden om deelberekeningen te maken of deelbewijzen te vinden¹⁰³. In deze fase maken wiskundigen creatief gebruik van analogieën, metaforen, paradoxen, dromen, plotselinge invallen, et cetera. "In hun zoektocht springen ze vooruit en terug. De rechtlijnige logica is ver te zoeken. Het gevoel overheerst." (2015, p. 11). *Ervaring* speelt in deze fase een belangrijke rol. Om dit gevoel te ontwikkelen moet iemand veel verschillende en soortgelijke situaties hebben meegemaakt. Sommigen zeggen daarom: *intuïtie komt met de jaren* (2015, p. 91).
- b. De tweede fase heet *incubatie- of sluimerperiode*. Het bewuste denken stopt. Het probleem wordt als het ware op een zijspoor gezet (2015, p. 73). Je gaat in de tuin werken, fietsen, koken, lezen, naar muziek luisteren, aan een ander probleem werken, of je gaat slapen. In deze periode geeft de wiskundige aan zijn onbewuste de gelegenheid om alles te verwerken.
- c. Als het goed gaat volgt daarna de *verlichting*, ook wel beschreven als *Aha!*-moment. Andrew Wiles beschreef dit als: je bent strompelend en botsend door een donkere kamer gegaan, en dan ineens heb je het lichtknopje gevonden! (2015, p. 90). Je hebt ineens het gevoel dat je weet hoe het zit. Het gaat echter lang niet altijd zo goed. Soms komt dit moment gewoon niet, en moet je weer bij a. beginnen.
- d. De laatste fase is de *verificatie*. De ingeving hoeft niet juist te zijn, en moet gecontroleerd worden. Ook deze fase is er vaak weer één waarin hard gewerkt moet worden, maar waarin nu het streng-logische denken de regie voert. De berekening of het bewijs moet stap voor stap precies worden uitgevoerd, en alle details moeten kloppen¹⁰⁴. Ook al voert het logische denken hierbij de regie, deze fase wordt ook begeleid door sterke emoties, zoals de angst dat het toch niet gaat kloppen, en als het allemaal wel blijkt te kloppen, dan komt er vreugde of ontroering. Dit laatste wordt het *Eureka!*-moment genoemd (2015, p. 95). Ook voor het bereiken van dit moment is geen garantie te geven. Eén van de respondenten van Langendorff klaagt: "Ik zit al

¹⁰³ Zie ook (Portoraro, 2014, p. 66). Naar mate het gebied waarop het probleem ligt minder in kaart gebracht en geformaliseerd is, krijgen deze programma's meer het karakter van 'assistenten', die wel enigszins kunnen helpen maar niet veel werk kunnen overnemen.

¹⁰⁴ Bij deze fase zijn er tegenwoordig AI-hulpmiddelen die in een aantal gevallen ondersteuning kunnen bieden. Mizar is bijvoorbeeld een programma dat, wanneer een bewijs in de Mizar-taal geschreven is, het bewijs voor de wiskundige kan verifiëren (Portoraro, 2014, pp. 64-65).

een halfjaar met een probleem waar ik niet uitkom. En telkens denk ik na een moment van *Aha!* dat ik iets te pakken heb, maar dan klopt het weer niet" (2015, p. 101).

De wiskundigen, die op de vragen van onderzoekers reageerden, herkenden in grote meerderheid de hierboven beschreven fasen. Uiteraard met verschillende accenten en toepassingen, soms met minder duidelijke overgangen of onderscheidingen, en soms in andere woorden.

De fasen a. en b. bevestigen mij in het vermoeden van het verschil tussen de organisatievormen van processen die op ontwerp (c.q. maakbaarheid) of op groei gebaseerd zijn (pagina 196-198). Terwijl fase a. al de indruk maakt van een mengvorm van maakbare- en groeiprocessen, geeft vooral fase b. de indruk dat de komst van het 'verlossende inzicht' (in de mogelijkheid van een maakbaar bewijs of een maakbare berekening) in veel gevallen de ruimte nodig heeft om buiten het zicht van een bewuste censor te kunnen groeien en geboren worden.

In terugblik op de tegengestelde visies op het onbewuste als *innerlijke idioot* of als *het slimme onbewuste* (deel I, hoofdstuk 3, § 1), is het interessant om hier aan het bovenstaande fasenmodel af te lezen hoe wiskundigen praktische methoden hebben ontwikkeld om door 'intellectuele training' intuïtie fijngevoeliger en vruchtbaarder te maken (2015, p. 93), en zodoende de bijdrage van het onbewuste in de richting van het slimme onbewuste te sturen.

Tenslotte lijkt het mij van belang om er bij stil te staan dat in de genoemde studies door verschillende wiskundigen geconstateerd wordt dat het wiskunde onderwijs in de meeste gevallen ver afstaat van de praktijk van wiskundig onderzoek. "In dat onderzoek speelt niet alleen de logica een belangrijke rol, maar ook de intuïtie en alle andere minder exacte manieren om de wiskundige waarheid te achterhalen". Langendorff illustreert dit met een mooi citaat van Poincaré: "*Al eerder ben ik in de gelegenheid geweest om erop te hameren dat de intuïtie haar plaats moet houden in het onderwijs in de wiskundige wetenschappen. Zonder de intuïtie zouden de jonge aanstaande denkers niet ingewijd kunnen worden tot begrip van wiskunde. Ze zouden niet leren ervan te houden en zouden er alleen maar een logicogekissebis in zien.*" (2015, p. 12).

In relatie tot het vormingsthema van mijn studie is deze opmerking van Poincaré zeer relevant, en naar mijn indruk nog steeds actueel. De fasen a, b en c uit het hier besproken fasenmodel komen in het onderwijs meestal niet, of veel te weinig, aan bod. Terwijl het juist deze creatieve fasen zijn die bepalen dat wiskundigen niet alleen schepers maar ook scheppers zijn van het cultuuraspect dat wiskunde heet. Wanneer men het vormingspotentieel, dat wiskunde te bieden heeft, ook aan leerlingen ten goede wil laten komen dan moet men hen ook intensief kennis laten maken met deze creatieve fasen.

De suggestie van Poincaré leent zich ook prima voor onderwijsexperimenten die door onderzoek begeleid worden. Aan Langendorff is echter slechts één onderzoek in deze richting bekend (2015, pp 97-99). Peter Liljedahl publiceerde in 2008 een onder-

zoek naar Aha!-ervaringen bij Pabo studenten, dat hij ondernam parallel aan een experiment met een nieuwe opzet van de verplichte Pabo-wiskunde-cursus. Ondanks de beperkingen en onvolkomenheden van dit onderzoek gaf het al duidelijke aanwijzingen dat het creatieve zelf-ontdekken en de Aha!-ervaringen een sterke motiverende uitwerking kunnen hebben op studenten. Verder onderzoek in deze richting zou waardevolle suggesties kunnen opleveren voor vormend wiskunde onderwijs.

9 CONCLUSIES

Zoals toegezegd kom ik aan het eind van dit hoofdstuk terug op de vraag waarmee het vorige hoofdstuk eindigde: *Is het vergeten of negeren van beperkingen, en reductionistische mythevorming, misschien een risico dat 'van nature' gepaard gaat aan de ontwikkeling van de wiskundig-formaliserende benadering van onderzoek en kennis?*

In de loop van dit hoofdstuk werden, in antwoord op deze vraag, verschillende vermoedens genoemd:

- Aan het einde van § 1 (pagina 184) werd genoemd, dat de diepe bewondering en inspiratie, die het inzicht in wiskundige vormen kan oproepen, als keerzijde de verleiding brengt om alles waar wiskunde van afziet te minachten.
- In § 5 (pagina 193) werd het vermoeden geformuleerd, dat de positieve inspiratie, die opgeroepen wordt door het perspectief op steeds nieuwe gebieden van interessante toepassingsmogelijkheden, als keerzijde de verleiding met zich meebrengt om de eerder ontdekte beperkingen te vergeten of te negeren.
- Kort daarna (pagina 193) werd het vermoeden van Searle geciteerd, dat wij de neiging hebben om aan automaten (computers, robots) menselijke intelligentie toe te schrijven, vooral wanneer die fungeren als verlengstukken van onszelf, en dan te vergeten dat metaforische intelligentie niet hetzelfde is als intrinsieke intelligentie.
- In de introductie van § 7 (pagina 196) werd genoemd, dat het voortduren van de technologische ontwikkeling, en het bereiken van nieuwe bijzondere successen, eerdere kritiek en bezwaren kan doen vergeten, en de schijn kan wekken dat deze eerdere bezwaren door de praktijk gefalsifieerd zijn.
- Tenslotte doet de laatste paragraaf over intuïtie nu het vermoeden opkomen dat vele wiskundigen niet graag de onzekerheid toegeven die met het creatieve deel van hun werk verbonden is. Wanneer men zijn onderzoek aan collega's presenteert vertellen velen er vermoedelijk niet graag bij dat zij een deel van hun resultaten te danken hebben aan 'dom geluk', of aan een onbegrijpelijk proces dat hen overkomen is, en waar zij niet vernuftig en weloverwogen zelf de hand in hebben gehad. Een proces waarbij eerder dankbaarheid dan trots een passende emotie is.

Wanneer ik nu terugkom op bovenstaande vraag, dan kan deze samenvattend als volgt beantwoord worden:

Ja, vermoedelijk is het risico van reductionistische mythevorming van nature met de wiskundige benadering verbonden, want:

1. Wiskunde levert van nature inspirerende inzichten op, die gepaard gaan aan gevoelens van bewondering en verhevenheid, met als keerzijde de verleiding om alles te minachten waar wiskunde in zijn reducties van afziet.
2. De wiskundige benadering heeft onafzienbare toepassingsgebieden waarop indrukwekkende resultaten te behalen zijn. Daarbij worden de beperkingen en vereenvoudigingen waarop die toepassingen gebaseerd zijn van nature graag vergeten¹⁰⁵.
3. Wiskunde is een discipline die, zoals de naam al uitdrukt, van nature op het verkrijgen van zekerheid gericht is. Daarom hebben vele wiskundigen er moeite mee om de onzekerheden onder ogen te zien, die met de beperkingen (Gödel) en met het creatieve aspect van hun discipline verbonden zijn.

Anderzijds is wiskunde, wanneer men de verleidingen van mythevorming en reductionisme weerstaat, juist ook inspirerend omdat zij met de onmisbaarheid van intuïtie demonstreert dat er naast het formeel-logisch-rationele ook nog iets heel anders nodig is! Sommige geniale wiskundigen hebben er daarom geen enkele moeite mee om dit laatste te erkennen en te benadrukken.

Een welsprekend voorbeeld daarvan is, opnieuw, Henri Poincaré: *"Bij het steeds strenger redeneren krijgt de wetenschap van de wiskunde iets kunstmatigs, wat iedereen opvalt. Ze vergeet haar historische origine. Men ziet hoe kwesties opgelost worden, men weet niet meer hoe en waarom de vragen worden gesteld. Dat laat ons zien dat logica alleen niet voldoende is. Dat de wetenschap van het bewijzen niet de hele wetenschap is en dat de intuïtie haar functie moet houden als aanvulling. Bijna zei ik: als tegenwicht of als tegengif tegen de logica."*¹⁰⁶

Een recent voorbeeld biedt een poëtische tekst van Sir Michael Atiyah: *"In the broad light of day mathematicians check their equations and their proofs, leaving no stone unturned in their search for rigour. But at night, under the full moon, they dream, they float among the stars, and wonder at the mystery of the heavens: they are inspired. Without dreams there is no art, no mathematics, no life"*.¹⁰⁷

Deze citaten geven een goede aanleiding om de overgang te maken naar een nieuw hoofdstuk, waarin 'iets heel anders' centraal zal staan. Een belangrijk aanknopingspunt, voor het onderzoeken van een kennisbenadering die van de wiskundige verschilt, biedt

¹⁰⁵ In het voorafgaande heb ik nog maar een klein deel van de voorbeelden behandeld die hiervan te geven zijn. Denk aan ontwikkelingen zoals 'Artificial Life' en 'Artificial Evolution' waarbij, net als bij 'Artificial Intelligence', alleen de naamgeving al aanmoedigt om de inherente beperkingen en vereenvoudigingen te vergeten.

¹⁰⁶ Uit (Poincaré, 1998, p. 131), geciteerd door (Langendorff, 2015, p. 15).

¹⁰⁷ Geciteerd door Robbert Dijkgraaf in een tweet op 11 november (2015).

het gedachtenexperiment van John Searle (hoofdstuk 6, § 2). Searle ontleende immers zijn definitie van 'mind' aan het werk van Brentano. Dit werk van Brentano staat echter aan het begin van een traditie, de fenomenologie, die het innerlijk waarnemen van ervaringen centraal stelt, en die ter wille van de zuiverheid van dat innerlijk waarnemen alle uiterlijke verklaringen methodisch 'tussen haakjes' zet. Searle's definitie van 'mind' als 'intentionaliteit' dankt hij dan ook aan de fenomenologische benadering. Men kan immers alleen weten dat 'mind' per definitie 'intentioneel' is door te vertrouwen op innerlijke waarneming van de mind door zichzelf. Het inzien van het belang van 'innerlijke waarneming' spreekt daarnaast uit Searle's gebruik van het 'eerste persoons perspectief' van een denkbeeldige ambtenaar die in een Chinese Kamer het werk van een computer uitvoert. Daartegenover komt het vreemd over dat de eerste bewering die hij bij zijn artikel als uitgangspunt neemt, en die hij zó vanzelfsprekend acht dat deze niet ter discussie gesteld hoeft te worden, luidt:

"Intentionality in human beings (and animals) is a product of causal features of the brain. I assume that this is an empirical fact about the actual causal relations between mental processes and brains. It says simply that certain brain processes are sufficient for intentionality" (pagina 165).

Hoe is het nu mogelijk dat Searle het voor vanzelfsprekend houdt dat een fenomeen, dat alleen via innerlijke waarneming gekend kan worden, ook gekend en verklaard kan worden als causaal product van het brein als extern waarneembare materiële configuratie? Hoe zou intentionaliteit, die *niet* extern-objectief waarneembaar is, ooit in causaal verband gebracht kunnen worden met *wel* objectief waarneembare kenmerken van het brein? Is het niet een harde eis van empirische wetenschap dat twee kenmerken die met elkaar in causaal verband gebracht worden, beide extern-empirisch waarneembaar moeten zijn?

Natuurlijk kan men zich, in reactie op dergelijke vragen, allerlei interessante ken-theoretische discussies voorstellen. Het vreemde is echter dat Searle in zijn artikel de noodzaak van dergelijke discussies volkomen negeert. Daarmee lijkt hij zich te scharen in de rijen van al diegenen die ervan overtuigd zijn, dat al het 'geestelijke' dat nu nog vraagt om benadering via innerlijke waarneming, uiteindelijk toch extern-empirisch waargenomen en verklaard zal kunnen worden. Kortom, met deze stelling lijkt hij zich aan te sluiten bij een reductionistisch vooroordeel van zijn discussiepartners. Het is echter maar de vraag of dat zomaar kan, en of Searle daarmee zijn argumentatie niet onnodig verzwakt. Aan de ene kant probeert hij immers een reductionistisch vooroordeel te bestrijden (dat semantiek tot syntaxis te herleiden zou zijn), en aan de andere kant sluit hij kritiekloos aan bij een ander reductionistisch vooroordeel (dat de 'geest' slechts een product is van het brein). Zoals ik beschreef kreeg hij dan ook moeilijk weerlegbare kritiek op zijn definities van intelligentie en intentionaliteit, omdat die duidelijk niet voldoen aan de criteria van empirische wetenschap (pagina 170 e.v.).

Om meer duidelijkheid te brengen in dergelijke kwesties, en om tegelijk daarmee de wiskundige kennisbenadering te contrasteren met een alternatief, zal ik in het volgende

hoofdstuk nader ingaan op fenomenologische¹⁰⁸ en hermeneutische kennisbenaderingen.

¹⁰⁸ Het is opmerkelijk dat twee filosofen die hun loopbaan als wiskundige begonnen een belangrijk aandeel hebben gehad in de ontwikkeling van fenomenologie. Edmund Husserl, wiens werk in het volgende hoofdstuk aan de orde komt is daar een voorbeeld van. Maar, datzelfde geldt voor C.S. Peirce, die eveneens een fenomenologie ontwikkelde, die mij echter minder goed bekend is. Hier is dus sprake van een 'road not taken' (zie het gedicht bij hoofdstuk 1) die waarschijnlijk zeer de moeite waard is om in een latere studie alsnog te verkennen.

HOOFDSTUK 8

De fenomenologische context van intentionaliteit

In het nu volgende hoofdstuk zal de oorspronkelijke context van begrippen zoals intentionaliteit en intelligentie toegelicht worden aan de hand van een kennismaking met de benadering die oorspronkelijk als 'fenomenologisch', en later ook als 'hermeneutisch' werd aangeduid. Daarbij zal blijken dat de discutabele aanname van Searle volgens deze benadering op een categoriefout berust.

Vervolgens zal nagegaan worden in hoeverre een fenomenologische, of hermeneutische benadering in staat kan stellen om het verschil tussen metaforische en intrinsieke intentionaliteit waar te nemen. Daarna zal verdere verkenning leiden tot de ontdekking dat deze kennisbenadering in een bepaald opzicht tegengesteld gericht is aan de wetenschappelijke kennisbenadering, maar juist daardoor geschikt is om begrippen zoals 'mind' en 'intentionaliteit' in een verhelderende context te plaatsen.

Dit betoog zal uitlopen op conclusies over de relatie tussen de twee met elkaar gecontrasteerde kennisbenaderingen, en een vermoeden met betrekking tot 'intelligentie'.

1 FENOMENOLOGIE

De term 'fenomenologie' is oorspronkelijk, zowel bij Brentano als bij Husserl, afkomstig uit de context van het bekende onderscheid tussen beschrijvende en verklarende wetenschap (de Boer, 1966, pp. 74-75, 78). Voordat men fenomenen op een bepaald gebied kan gaan verklaren moeten zij eerst, zo onbevooroordeeld mogelijk, beschreven zijn. Aan het einde van de 19^e eeuw kwam een nieuwe wetenschap op, de psychologie, en de inzet van auteurs zoals Brentano richtte zich op het doel om het eigene van 'psychische fenomenen' (in onderscheid van 'fysische fenomenen') helder te krijgen. Fenomenologie was dus oorspronkelijk bedoeld als een voorstadium voor verklarende psychologie. Een eerste resultaat van deze 'fenomenologische psychologie' was Brentano's criterium van intentionaliteit (zie pagina 163).

1.a Husserls *Fundamentalbetrachtung*

In 1913 vindt Husserl het nog steeds nodig om van zichzelf en van zijn lezers een bijzondere inspanning te vragen om het eigene van psychische fenomenen helder voor ogen te krijgen. Hij begint zijn *Phänomenologische Fundamentalbetrachtung* met een uitvoering

pleidooi (2002, pp. 48-57) voor het 'tussen haken zetten' of 'opschorten'¹⁰⁹ van het algemeen gangbare 'natuurlijke wereldbeeld'¹¹⁰. Hij stelt dat dit 'opschorten' nodig is om werkelijk toegang te krijgen tot dit nieuwe gebied van wetenschap¹¹¹. Mijn 'gewone' ervaren van en omgaan met de wereld impliceert de stilzwijgende stellingname, dat er een wereld bestaat die bestendig voorhanden is als mijn tegenover, en die tegelijk de omvatende werkelijkheid is waartoe ik naar lichaam en geest behoor. Het is precies het 'opschorten', 'tijdelijk uitschakelen', of 'niet gebruiken' van deze impliciete stellingname dat noodzakelijk is om psychische gegevens zuiver te kunnen beschouwen *zoals zij gegeven zijn*, in plaats van reeds bepaald door dit vooropgezette interpretatiekader.

Wanneer Husserl deze opschorting toepast, dan worden hem een aantal kenmerken duidelijk van 'belevingen', en van de menselijke geest als 'stroom van belevingen', die zich soms wel en soms niet in de lichtkring van het bewustzijn bevinden:

- Het behoort tot het wezen van belevingen om belevingen *van* iets te zijn. Kortom, het al veel genoemde kenmerk van *intentionaliteit*. Wanneer men belevingen onafhankelijk van de 'natuurlijke stellingname' beschouwt, dan ziet men dat de inhoudelijke betrokkenheid van een beleving geen bijkomstig kenmerk is, maar dat het tot het wezen van een beleving hoort dat het een beleving *van* iets is, en met welke *betrokkenheid* het een beleving van iets is (2002, p. 64).
- Vervolgens verdiept Husserl zich in het verschil tussen de waarneming van een beleving en de waarneming van een 'ding'. Wanneer ik een beleving waarneem, dan is die waarneming zelf ook weer een intentionele beleving (van die eerste beleving). De waarneming van pijn is bijvoorbeeld een beleving die op de primaire pijnbeleving gebaseerd is, en daarmee vervlochten is. Die twee belevingen vormen één

¹⁰⁹ 'Opschorting' is mijn vertaling van het Griekse begrip 'εποχή' dat Husserl hiervoor gebruikt.

¹¹⁰ Mijn vertaling van Husserls begrip '*natürliche Einstellung*'.

¹¹¹ Husserl presenteert de noodzaak van dit 'opschorten' aanvankelijk als een vanzelfsprekende voorwaarde voor het toegankelijk maken van een nieuw wetenschapsgebied. Het lijkt mij dat er twee redenen genoemd kunnen worden die dit 'opschorten' voor hem noodzakelijk en voor de hand liggend maken:

1. Zijn latere constatering van het fundamentele verschil tussen het waarnemen van een 'Erlebnis' en het waarnemen van een 'Ding'. Wanneer men 'de wereld van de dingen' als vanzelfsprekend en als maatgevend ervaart, dan ligt de verleiding op de loer om ook 'belevingen' als een in die wereld voorkomende soort van 'dingen' te benaderen, en niet in hun van elk ding verschillende eigenaard te herkennen.

2. Het is 1913. Wiskundigen waren in de 19e eeuw begonnen om de bestaande grondvesten van de wiskunde los te laten (zoals eerder in dit hoofdstuk beschreven), daarnaast had Darwin in de 19e eeuw zijn evolutietheorie gelanceerd, en daarbovenop had Einstein aan het begin van de 20e eeuw het volkomen vanzelfsprekend geachte Newtoniaanse wereldbeeld aan de kant gezet. Husserl kon dus aansluiten bij andere voorbeelden van het 'tussen haken zetten' van een gangbaar wereldbeeld, als middel om de weg vrij te maken voor een nieuwe wetenschapontwikkeling.

geheel waarbij de waarneming zowel gericht is op als gefundeerd is op de primaire beleving. Deze twee belevingen kunnen één geheel vormen omdat zij tot dezelfde stroom van belevingen behoren. Het gevolg van deze eenheid is, dat de waarneming van een beleving 'absolute zekerheid' geeft. Omdat de waarneming volkomen afhankelijk is van de primaire beleving is er geen ruimte voor twijfel daaraan (2002, pp. 68, 85). Dit impliceert overigens niet dat deze waarneming ook volmaakt is. Soms kan ik een beleving niet lang vasthouden, en raakt een deel van de waarnemingsinhoud verloren (2002, p. 82). Maar, dit neemt niet weg dat de waarneming van belevingen een absolute garantie impliceert op het bestaan van de waargenomen belevingen¹¹².

In contrast daarmee heeft de waarneming van een 'ding' een geheel ander karakter. Iedere individuele beleving van een ding betreft slechts een momentaan beleefde 'afschaduwing' (aspect) daarvan. En, het ontstaat pas op den duur, dat die belevingen als afschaduwingen van één ding ervaren worden. Pas door inhoudelijke bevestigingen tussen een stroom van belevingen onderling, gaan deze belevingen een geheel vormen als de belevingen van één ding. Zo ontstaat het 'eenstemmige bewustzijn' van een waarnemingsding dat steeds van nieuwe kanten, en met steeds rijkere bepalingen verschijnt (2002, pp. 69, 78). Dit impliceert twee belangrijke verschillen met de waarneming van een beleving:

1. Het 'ding zelf' is niet immanent gegeven in zijn belevingen of in het bewustzijn als de stroom daarvan, maar is ten opzichte daarvan transcendent. Die transcendentie betekent geen zelfstandigheid, maar juist afhankelijkheid. Het 'ding zelf' is slechts gegeven als het afhankelijke 'correlaat' van een meervoudigheid aan belevingen die elkaar eenstemmig bevestigen (2002, p. 88).
2. Daarom blijft het bestaan van een ding ook altijd onzeker. Het is nooit uit te sluiten dat het verdere verloop van waarnemingen het nodig maakt om het eerdere poneren van een object op te geven. We zeggen dan: achteraf gezien was het toch een illusie, een hallucinatie, een droom, of iets dergelijks. Omdat het voorbije verloop van waarnemingen per definitie geen garantie geeft voor de toekomst blijft het bestaan van een ding een onzeker en toevallig karakter dragen (2002, p. 86).

Dit radicale verschil tussen het immanente waarnemen van een beleving en het transcendente waarnemen van een ding toont aan dat 'belevingen' en 'dingen' tot fundamenteel verschillende zijnsregionen behoren. "*Darin bekundet sich eben die prinzipielle Unterschiedenheit der Seinsweisen, die kardinalste, die es überhaupt gibt, die zwischen Bewußtsein und Realität*" (2002, p. 77).

- Op grond van deze overwegingen concludeert Husserl tot een afhankelijkheidsrelatie die precies het omgekeerde is van de afhankelijkheidsrelatie die men gewoonlijk,

¹¹² Bijvoorbeeld: ook al zegt een dokter nog zo nadrukkelijk dat ik geen pijnbelevingen zou moeten hebben, dan nog weet ik zeker dat er een pijnbeleving is wanneer ik die bewust ervaar.

vanuit het 'natuurlijke wereldbeeld', veronderstelt. Het bewustzijn toont zich immers, bij een fenomenologische beschouwing, als een regio van zijn die in wezen geen 'wereld van dingen' nodig heeft om te kunnen bestaan. Om dit kenmerk nog extra voor het voetlicht te halen, voert Husserl een denkexperiment van 'wereldvernietiging' uit (2002, pp. 91-93).

Stel je voor dat het in onze ervaringen niet alleen af en toe, maar voortdurend zou wemelen van onoplosbare tegenstrijdigheden. Stel dat onze ervaringen alle pogingen, om in afschaduwingen de eenheid van stabiele dingen te ontdekken, voortdurend zouden logenstraffen. Dan zouden zich misschien af en toe in onze ervaringen nog wel 'vage gestalten' voordoen, als houvasten van voorbijgaande aard, maar die zouden met elkaar beslist niet een 'wereld' vormen, met het ons vertrouwde karakter van bestendige voorhandenheid. Kortom: er zou dan geen sprake meer zijn van een 'wereld', maar nog steeds van bewustzijn. Zo wordt duidelijk, "dat het zijn van het bewustzijn, door een vernietiging van de wereld weliswaar gemodificeerd, maar niet in zijn eigen bestaan geraakt wordt" (2002, p. 91).

Maar omgekeerd bewijst de hierboven al gegeven beschrijving van het transcendente karakter van de gegevenheid van 'dingen' (als transcendente synthese van beleefde afschaduwingen), dat de 'wereld', om 'wereld' te kunnen zijn, noodzakelijk op bewustzijn is aangewezen. Een niet ervaren of niet ervaarbare wereld is een logische onmogelijkheid (2002, p. 90). "*Was die Dinge sind, ... das sind sie als Dinge der Erfahrung*" (2002, p. 88).

Husserls conclusie luidt: "*Zwischen Bewußtsein und Realität gähnt ein wahrer Abgrund des Sinnes. Hier ein sich abschattendes, nie absolut zu gebendes, bloß zufälliges und relatives Sein; dort ein notwendiges und absolutes Sein ...*" en "*So kehrt sich der gemeine Sinn der Seinsrede um. Das Sein das für uns das Erste ist, ist an sich das Zweite, d.h. es ist, was es ist, nur in 'Beziehung' zum ersten*" (2002, p. 93).

- Tenslotte noem ik hier de conclusie, die duidelijk maakt hoezeer Searles uitgangspunt ("*As a matter of empirical fact, intentional mental states are caused by and realized in the structure of the brain*") in strijd is met Husserls concept van intentionaliteit.

Husserl concludeert dat het bewustzijn moet gelden als een in zichzelf gesloten zijns-samenhang met een absoluut karakter, waarin niets kan binnendringen en waaruit niets kan ontsnappen. Het is daarom een samenhang die geen ruimtelijk-tijdelijke buitenkant heeft, en die ook niet binnen in een ruimtelijk-tijdelijke samenhang kan bestaan. Het is een samenhang die van geen enkel ding causaliteit kan ondergaan, en die op geen enkel ding causaliteit kan uitoefenen (2002, p. 93).

1.b Subjectieve en objectieve lichamelijkheid

Na dit indrukwekkende begin van de fenomenologie hebben latere auteurs in Husserls spoor verder nagedacht over de thema's die hij aansneed. Daarbij zagen velen zich genoodzaakt om met name van de laatstgenoemde conclusie af te wijken.

Husserls conclusie dat de menselijke geest, geïsoleerd zou zijn van externe invloeden, is immers in strijd met vele ervaringen die, ook als men hen 'immanent' waarneemt, onmiskenbaar en direct getuigen van onze betrokkenheid in interacties. Interacties die niet alleen het karakter hebben van interacties met andere 'minds', maar ook het karakter hebben van interacties met 'stof'. Interacties waar wij in betrokken zijn omdat wij niet alleen mentale maar ook 'stoffelijke' wezens zijn.

Om deze reden is bij latere fenomenologen '*lichamelijkheid*' een belangrijk thema geworden. Daarbij onderscheiden zij in het algemeen nadrukkelijk tussen '*subjectieve lichamelijke*' (het lichamelijke karakter van mijn subject-zijn, als immanent aspect van mijn belevingen) en '*objectieve lichamelijke*' (de 'empirische lichamelijke' die deel uitmaakt van de 'natuurlijke wereld') (Kwant, 1968; Levinas, 1968; Merleau-Ponty, 1964; Sartre, 1943). Deze onderling onherleidbare 'dimensies' van lichamelijke stammen uit fundamenteel verschillende benaderingen, hebben beiden een partiële geldigheid, en hebben op verschillende manieren ook met elkaar te maken. Levinas geeft een korte samenvatting van die wonderlijke samenhangen met zijn uitspraak: "Je suis une chose qui pense" (1978, p. 117)¹¹³.

1.c Searle's categoriefout

Maar, dat wil niet zeggen dat Searle toch een beetje gelijk krijgt van deze latere fenomenologen. Het blijvende inzicht, dat Husserls beschouwingen heeft opgeleverd, is het inzicht in het diepgaande verschil tussen het waarnemen van een beleving en het waarnemen van een ding-in-de-wereld. Wanneer men zich van dit verschil bewust is, dan is duidelijk dat deze verschillende soorten van waarnemen gebaseerd zijn op twee radicaal verschillende 'instellingen', ofwel 'basisinterpretaties'.

- a. Voor de 'natuurlijke instelling' (zoals Husserl het noemde) is de 'wereld' het primaire gegeven. Wanneer men daarvan uitgaat, dan moeten belevingen, ook al kunnen zij niet als direct waarneembare verschijnselen in de wereld gelokaliseerd worden, toch ergens in de wereld plaats vinden, en door iets in de wereld voortgebracht worden.
- b. Voor de 'fenomenologische instelling' is de stroom van belevingen het primaire gegeven. Wanneer men daarvan uitgaat, dan moet ook de 'wereld', ook al kan die niet direct in de stroom van belevingen aangetroffen worden, toch op de één of andere manier dankzij die stroom tot stand komen en door bepaalde kenmerken van belevingen in die stroom mogelijk gemaakt worden.

Deze dualiteit van 'instellingen' maakt duidelijk dat wij vanuit instelling a. waarnemingen van dingen-in-de-wereld kunnen verzamelen tot wij een ons wegen, zoals waar-

¹¹³ In deel III (hoofdstuk 15, § 2) zal de draad van de fenomenologie, met name de fenomenologie van Levinas, verder vervolgd worden, bij een verkenning naar mogelijkheden om binnen het concept 'vorming' nadere onderscheidingen te maken.

nemingen van hersenscans, van elektro-encefalogrammen, of van plakjes hersenweefsel, maar dat wij dan nooit directe waarnemingen van belevingen zullen vinden. En omgekeerd, wanneer wij vanuit instelling b. belevingen waarnemen en als belevingen onderzoeken, dan zullen we te midden daarvan nooit direct neuronen, synapsen, of neurotransmitters tegenkomen. Het verschil tussen deze twee instellingen is in de eerste plaats een radicaal verschil in *hoe* men waarneemt, en het verschil in *wat* men (direct) kan waarnemen is een gevolg van het verschil in *hoe*.

Het is voor velen moeilijk, en voor sommigen onmogelijk, om te aanvaarden dat beide 'instellingen' een eigen recht van spreken hebben. Logisch gezien -en zo dacht Husserl ook- kunnen vertegenwoordigers van slechts één van beide instellingen gelijk hebben. Volgens de gangbare logica is het van tweeën één: belevingen zijn een product van iets in de wereld (en dan is het brein een kandidaat-producent), óf de wereld en alles wat die omvat is een schepping van 'de geest'. Husserl begon in zijn ontwikkeling bij de eerste opvatting, maar zag zich door de logica van zijn eigen redenering gedwongen om zich tot de tweede te bekeren.

De hierboven genoemde filosofen van lichamelijke propageren een én-én benadering, en een 'complementariteits-logica'. De stroom van belevingen interpreteren zij als levensuiting van subjectieve lichamelijke, die radicaal verschillend is van, en die tegelijk ook samenhangt met de objectieve lichamelijke, die wij vanuit de andere instelling kunnen waarnemen en onderzoeken. We hoeven dus niet te kiezen voor één van beide benaderingen, maar we kunnen beide gebruiken als elkaar complementair aanvullende benaderingen¹¹⁴.

Wanneer ik tegen de achtergrond van deze discussies en ontwikkelingen weer terugkeer naar de aanname die Searle vanzelfsprekend achtte, dan valt het op dat de uitdrukkingen die Searle gebruikte, zoals '*empirical fact*', '*caused by*' en '*realized in*' allen afkomstig zijn uit de sfeer van instelling a, en dus niet adequaat kunnen zijn om een verband met 'intentionaliteit' te beschrijven, omdat dit concept berust op de benadering van instelling b. Het ziet ernaar uit dat Searle de dupe is van de óf-óf logica en zich daarom gedwongen ziet om voor één van beide instellingen te kiezen. Maar, aan de andere kant wil hij toch gebruik maken van elementen die instelling b vooronderstellen, zoals het 'eerste-persoons-perspectief' en een begrip als 'intentionaliteit'. Zodoende gebruikt hij voor zijn betoog een mix van elementen die uit radicaal verschillende benaderingen afkomstig zijn. Terwijl, volgens de óf-óf logica, die hij in zijn aanname onderschrijft, die benaderingen onverenigbaar zijn. Het onnadenkend op één hoop gooien van elementen die tot radicaal verschillende categorieën behoren, kan in één woord aangeduid worden als categoriefout.

¹¹⁴ In deel I, hoofdstuk 2, § 4.b noemde ik Damasio als voorbeeld van een neurowetenschapper die beide benaderingen als complementair opvat en gebruikt.

2 FENOMENOLOGIE, C.Q. HERMENEUTIEK ALS ALTERNATIEVE KENNISBENADERING

Deze categoriefout neemt niet weg dat Searle's betoog veel waardevolle elementen bevat. Daartoe behoort zeker het onderscheid tussen 'intrinsieke intentionaliteit' aan de ene kant, en 'metaforische-' of 'afgeleide intentionaliteit' aan de andere kant (pagina's 164, 168). Dit onderscheid lijkt mij belangrijk en verhelderend. Maar, wanneer de door mij afgekeurde aanname onjuist is, dan roept dit onderscheid wel een vraag op.

Wanneer 'intrinsieke intentionaliteit' niet een causaal gevolg is van een materiële configuratie, en dus ook niet is vast te stellen als een empirisch feit¹¹⁵, hoe merken we dan wel het verschil? Hoe weten we of we al dan niet terecht 'intrinsieke intentionaliteit', ofwel een 'mind', toeschrijven aan een 'tegenover'?

2.a Hoe merken we het verschil?

Een eerste antwoord op deze vraag ontleen ik aan *Vooronderstellingen van een kritische psychologie* van Theo de Boer (1980). Zijn gedachtegang parafraserend kom ik tot het volgende antwoord: één van de immanent waar te nemen belevingen van interactie, is de beleving van communicatie. Die beleving impliceert het poneren van tegenwoordigheid van, en interactie met, een 'tegenover' die net als ik een intrinsiek intentioneel wezen is. Maar, wat voor karakter heeft dit 'poneren'? Voor een antwoord op die vraag refereert de Boer met name aan Habermas, die dit poneren als '*contrafactisch*' karakteriseert. Daarmee is bedoeld dat ik die andere intentionaliteit al bij voorbaat verwacht, ook al heb ik die nog niet ervaren. Anders gezegd: dit poneren heeft het karakter van een *contrafeitelijke anticipatie* (1980, p. 101)¹¹⁶. Om duidelijker te maken wat hiermee bedoeld is, kan het voorbeeld dienen van een moeder, die al tegen haar pasgeboren baby begint te praten, helemaal vanuit de verwachting dat dit wezentje ook een intentioneel mens zal blijken te zijn, ook al is daar feitelijk nog niets van gebleken. De Boer en anderen vermoeden dat dit contrafactische verwachten een grondlegend beginsel is van communicatie (1980, pp. 101-114). Men kan vermoeden dat de werkzaamheid van die verwachting vergelijkbaar is met een 'self-fulfilling prophecy'. De verwachting van de moeder uit het voorbeeld is wellicht een belangrijke voorwaarde om mogelijk te maken dat de baby op den duur inderdaad communicatief op zijn moeder gaat reageren, en dat de verwachting van communicatieve interactie vervuld wordt.

¹¹⁵ Van het idee, dat deze vraag wél empirisch te beantwoorden zou moeten zijn, is de 'Turing test' en welsprekend voorbeeld.

¹¹⁶ De Boer werkt dit 'anticiperen' of 'verwachten' inhoudelijk verder uit in de vorm van vijf "postulaten van de dialoog" (1980, pp. 78-100). Ik laat deze uitwerking hier achterwege omdat deze niet beslist nodig is voor de grote lijn van mijn betoog op dit moment.

Maar, die verwachting kan ook stuklopen op interactie-belevingen die zich in haar kielzog voordoen. Contrafactisch verwachten is uitgaan van communicatie 'tot het tegendeel blijkt'. En, dat tegendeel kan blijken. Ook in het geval van andere mensen. Ik kan er bijvoorbeeld achter komen dat iemand die mij hevig aanviel gedreven werd door een psychose, en daarom 'niet zichzelf was'. Of, wanneer ik er achter kom dat ik diep bedrogen ben, dan moet ik concluderen dat ik misschien wel met een intentioneel wezen te maken had, maar niet met degene met wie ik dacht te communiceren. In al die gevallen lopen mijn verwachtingen van communicatie stuk. De 'tegenwoordigheid' waarvan ik verwachtte dat ik ermee in communicatie was of zou komen, blijkt een 'afwezigheid' te zijn. Datzelfde zou in principe kunnen gebeuren wanneer men mij ooit als behoeftige bejaarde een 'thuiszorgdame' zou bezorgen, die een robot blijkt te zijn. Misschien heb ik een tijdlang niets in de gaten, maar op een gegeven moment zou ik aan de interactie kunnen merken dat deze zorgzame dame niet 'zelf tegenwoordig is', maar alleen uitdrukking geeft aan intentionaliteit van afwezige ontwerpers en programmeurs.

Wanneer ik nu terugkom op de bovenstaande vraag (hoe we het verschil merken), dan ligt het fenomenologisch beschouwd voor de hand om in de eerste plaats te letten op verschillen die *immanent* waar te nemen zijn aan de beleving van de interactie. Het lijkt mij dat het verschil bijvoorbeeld kan blijken uit een toenemende 'moeizaamheid' van het volhouden van de verwachting van communicatie, ook al blijft vervulling uit. Die 'moeizaamheid' kan blijken uit wanhoop of wantrouwen, dat 'insluipt' in belevingen die in eerste instantie nog wel als hoopvol en bevestigend ervaren werden. Of, in het denkbeeldige geval van een 'androïde zorgdame' zouden wellicht belevingen van het vastlopen in stereotype interactiepatronen het wantrouwen wekken. Kortom, het lijkt mij dat de belangrijkste 'indicatoren' voor het verschil tussen 'levende tegenwoordigheid' en 'afwezigheid' geen empirisch karakter hebben, maar gezocht moeten worden in de sfeer van de immanente waarneming van de interactie.

Deze conclusie sluit uiteraard allerminst uit dat mensen, die dergelijke immanente belevingen van moeizaamheid, wantrouwen of wanhoop bij zichzelf opmerken, ook waarnemingen van de transcendente soort kunnen inzetten om te zien of deze al dan niet hun immanente waarnemingen bevestigen. In het geval van een baby is het bijvoorbeeld aan te bevelen om het gedrag van de baby ook empirisch te observeren, of te laten observeren, en te toetsen of de baby naar empirische maatstaven al dan niet 'gezond gedrag' vertoont. In het geval van opkomend wantrouwen aan iemands eerlijkheid kan het verstandig zijn om te letten op feitelijke onjuistheden of contradicties. En, in het denkbeeldige geval van de twijfel aan de echtheid van een zorgdame kan ik overwegen om empirisch na te gaan of zij wel 'van vlees en bloed' is.

2.b Omkering van de verhouding tussen generiek en specifiek

Twijfel aan de juistheid van Searle's aanname, en vermoedens dat deze onjuistheid verband hield met reductionisme en verwarring rond kennisbenaderingen, vormden de aanleiding tot dit hoofdstuk. Nadat in het voorafgaande duidelijk is geworden dat Sear-

le's discutabele aanname inderdaad op een vorm van reductionisme berust, is nu het moment gekomen om na te gaan of ik met het voorgaande ook op het spoor gekomen ben van een alternatieve kennisbenadering. Omdat de ontdekking van een alternatieve tak van kennis en onderzoek ook licht kan werpen op enkele kwesties die na de discussies over de 'Chinese kamer' onbeantwoord bleven, zal ik het vervolg van mijn verkenning richten op het beantwoorden van de volgende drie vragen:

1. Vraagt onderzoek naar de menselijke geest om een wetenschappelijke 'bril' die een ander karakter heeft dan mathematisch-formele modelvorming?
2. Verheldert de identificatie van die andere 'bril' de onduidelijkheid van het begrip 'intentionaliteit', die de discussie rond de 'Chinese kamer' bemoeilijkte (pagina 170)?
3. Maakt die identificatie ook begrijpelijk hoe de discussie rond de 'Chinese kamer' de indruk kon maken van een (quasi) religieus dispuut (pagina 170)?

Om deze drie vragen te beantwoorden zal ik gebruik maken van een voorbeeld van de reacties op de eerste vraag, die in de hermeneutische traditie te vinden zijn. Deze reactie ontleen ik aan de Noorse onderzoeker Jan Smedslund (2009). Daarbij zal blijken dat het antwoord op de eerste vraag, dat ik aan de hand van Smedslund kan bereiken, een goed uitgangspunt biedt om ook tot antwoorden op de tweede en derde vraag te komen.

Smedslund rekent zijn benadering zelf tot die van de *hermeneutische* psychologie (2009, pp. 789-790). De term *fenomenologie* ontbreekt in zijn positionering. Dit terminologische verschil houdt (naar mijn interpretatie) verband met de ontwikkeling die ik in het voorafgaande ook al heb aangeduid, en die verband houdt met het toenemende besef dat de fenomenen, waartoe immanente waarneming toegang geeft, niet toegeschreven moeten worden aan een geïsoleerd gebied, maar, in tegendeel, vooral van *interactie* getuigen. Die interactie wordt voor een belangrijk deel beleefd als *communicatieve interactie*, dat wil zeggen: interactie tussen mijzelf als oorsprong van betekenis en andere oorsprongen van betekenis. Een cruciaal kenmerk van communicatieve interactie is het wonderlijke over en weer 'verstaan' of 'interpreteren' van betekenissen. Welnu, '*hermeneuse*' is niet anders dan de wetenschappelijke term voor dit 'verstaan' of 'interpreteren'. Het gebruik van het adjectief 'hermeneutisch' wijst op toenemende aandacht voor de rol van communicatieve interactie, met name bij de ontwikkeling van kennis.

Een belangrijk aanleiding van Smedslunds beschouwing is de constatering van het uiteengroeien van de academische psychologie enerzijds en de 'toegepaste psychologie' van practici anderzijds. Volgens zijn analyse houdt dit uiteengroeien verband met een ingrijpend verschil in doelstelling. Practici zijn gecommiteerd met reële mensen in reële leefsituaties, en zijn gericht op effectiviteit. Academische onderzoekers zijn vooral uit op het vinden van *invarianties*, ofwel op het verzamelen van empirische evidentie voor of tegen hypothesen die verband leggen tussen meetbare variabelen (2009, pp. 778-779).

De traditionele opvatting houdt in dat practici de kennis die academisch onderzoek oplevert gebruiken en 'toepassen'. Smedslund betoogt in zijn artikel echter, dat de aard van de kennis die dergelijk academisch onderzoek oplevert maakt dat practici daar in

het algemeen maar weinig profijt van kunnen hebben, terwijl omgekeerd academische onderzoekers veel meer zouden kunnen en moeten profiteren *van een andere soort van kennis die met name door practici wordt gebruikt en ontwikkeld* (2009, p. 779).

Bij de beschrijving van deze laatste soort van kennis onderscheidt Smedslund drie deelgebieden:

- a. "*What we all know about the basic features of being human because we are human*". Met deze kennis bedoelt Smedslund de fundamentele kenmerken van mens-zijn waar wij bij andere mensen en bij onszelf a priori van uitgaan, omdat wij menselijk willen zijn. Tot deze kenmerken rekent Smedslund: intentionaliteit¹¹⁷, geheugen, sensitiviteit, waarnemen, activiteit, emotionaliteit en reflectie (2009, pp. 780-781). Wanneer wij anderen en onszelf als mensen willen benaderen en behandelen, dan doen wij er goed aan om bij voorbaat uit te gaan van deze kenmerken. Overeenkomstig met De Boer beschouwt hij de kennis van deze kenmerken als *verwachtingen*, die men bij voorbaat, voor alle ervaring uit, al hanteert wanneer men mensen als mensen wil behandelen en beschouwen. Een direct daarmee samenhangende overeenkomst met De Boer is, dat hij, wanneer hij deze verwachtingen zo precies mogelijk probeert te expliciteren, hen typeert als '*axioma's*' (2009, pp. 781-782). Taalkundig gezien is 'axioma' immers het Griekse equivalent van de Latijnse, door De Boer gehanteerde term 'postulaat'. Deze axioma's fungeren in hun algemene betekenis als 'lege vormen', die door ervaring concrete inhoud krijgen. In concreto leren wij kennen welke intenties, waarnemingen, herinneringen, emoties, ..., wij inhoudelijk bij anderen en bij onszelf aantreffen (2009, p. 783).
- b. Een tweede deelgebied van deze 'mensenkennis' berust op het uitgangspunt dat mensen participeren in betekenis-systemen die zij met anderen delen (taal en cultuur), en dat zij zodoende een aantal kenmerken met anderen gemeen hebben (2009, p. 783). Opnieuw: de axiomatische verwachting dát een mens een cultuur- en gemeenschapswezen is, die gaat aan alle concrete ervaring vooraf. De manieren waarop mensen aan die verwachting voldoen, de concrete culturele rollen die mensen vervullen, en de concrete cultureel en historisch bepaalde inhouden die fungeren, dat zijn inhoudelijke aspecten die men uit ervaring of onderzoek kan leren kennen.
- c. Het derde deelgebied betreft de kenmerken die ieder mens uniek maken (bijvoorbeeld als gevolg van unieke samenlopen van gebeurtenissen en de herinneringen daaraan) (2009, p. 783). Dát ieder mens als mens uniek is, is een axiomatisch uitgangspunt. De concrete inhoud daarvan is te kennen uit ontmoetingen en andere ervaringen.

¹¹⁷ Bij Smedslunds intentionaliteitsbegrip valt op dat hij dit, anders dan Brentano en Husserl, weer in de meer 'gewone' zin opvat, als gerichtheid op doelen en bedoelingen.

De functie van de kennis uit deze drie deelgebieden wordt duidelijk wanneer men nadenkt over de 'werkhouding' die kenmerkend is voor competente practici. Deze werkhouding impliceert dat zij andere personen willen respecteren in hun unieke individualiteit en omstandigheden. De kennis van die individualiteit en uniciteit ontleen zij aan ontmoeting. Die ontmoeting impliceert ethisch commitment en noodzaakt tot inspanning om stereotypen, vooroordelen, theorieën, labels en voorspellingen achterwege te laten. Wat de competente practicus karakteriseert is dus niet in de eerste plaats het beschikken over een groot arsenaal aan generieke kennis die zich op bijzondere 'geval- len' laat toepassen, maar veeleer de inzet en het vermogen om voorafgaande ervaring en kennis op de achtergrond te houden en zich vooral te laten verrassen door wat daar *niet* in past. De hierboven beschreven apriorische categorieën hebben daarom een open karakter. Zij nodigen uit om ingevuld te worden vanuit ontmoeting en verrassing. Dit in tegenstelling met de uitkomsten van academisch onderzoek die gericht zijn op voorspel- baarheid, en die gemakkelijk kunnen verleiden tot generaliseringsen die ontmoeting en verrassing verhinderen (2009, p. 791). Die uitkomsten van academisch onderzoek zijn daarentegen in principe wél relevant wanneer blokkades ontmoeting en communicatie in de weg staan en mensen gevangen zetten in voorspelbare patronen. Het benaderen van een patiënt volgens een empirisch-analytische methode kan dan helpen om geblok- keerde mogelijkheden tot communicatie en ontmoeting te herstellen (de Boer, 1980, pp. 128-133).

Nu deze alternatieve kennisbenadering beknopt is weergegeven, kan ik terugkeren naar de drie vragen van pagina 223 en de antwoorden formuleren die ik aan de hand daarvan kan geven.

1. *Vraagt onderzoek naar de menselijke geest om een wetenschappelijke 'bril' die een ander karakter heeft dan mathematisch-formele modelvorming?*

De menselijke geest vraagt inderdaad om onderzoek met een ander karakter. Onder- zoek, dat uit is op kennisontwikkeling op twee niveaus:

- a. Het niveau van de apriorische 'lege' concepten die uitnodigen om bijzondere ken- merken van unieke mensen te leren kennen. Ik denk hierbij aan de moeite die een onderzoeker zoals Smedslund doet om concepten, zoals 'intentionaliteit', 'sensitivi- teit', 'geheugen', et cetera, te expliciteren, te articuleren, en in deelgebieden te onderscheiden. Ook dat is onderzoekswerk en kennisontwikkeling. Een verschil met de kennis die in de rest van dit hoofdstuk centraal staat is, dat deze kennis niet het karakter heeft van 'know-what', maar van 'know-how'. Een competente practicus weet wat hij moet doen en wat hij moet laten wanneer hij uit is op een bepaalde kwaliteit van menselijke interactie. Een kwaliteit die we benoemen met termen zoals 'ontmoeting', 'communicatie' of 'gelijkwaardige samenwerking'. Tot deze 'strategi- sche kennis' behoort het weten dat men contrafactisch van bepaalde kenmerken

moet uitgaan, wanneer men uit is op deze kwaliteit van interactie¹¹⁸. Kenmerken zoals die, welke Smedslund en de Boer aanduiden als axioma's of postulaten.

- b. Het niveau waarop deze concepten, ingebed in een communicatieve praktijk, functioneren als 'bril' om unieke, specifieke, onherhaalbare, plaats- en tijdgebonden kenmerken van mensen te leren kennen. De 'bril' van deze kennisbenadering werkt dus in een richting die precies omgekeerd is aan de mathematische bril. Terwijl het in de ene bril gaat om het ontdekken van abstracte vormen die onafhankelijk van materie, plaats en tijd kenbaar zijn, gaat het in de andere bril juist om het ontdekken van unieke, bijzondere, individuele, lichamelijk-materiële, cultuur- en tijdgebonden kenmerken.

2. *Verheldert de identificatie van die andere 'bril' de onduidelijkheid van het begrip 'intentionaliteit', die de discussie rond de 'Chinese kamer' bemoeilijkt?*

In het kader van de discussie rond de 'Chinese kamer' werd niet duidelijk gemaakt (ook niet door Searle) dat het karakteriseren van de 'mind' met behulp van een begrip zoals 'intentionaliteit' vooral goed tot zijn recht komt wanneer dit karakteriseren in de concrete context een praktisch-strategische functie vervult. Ter wille van die praktisch-strategische functie krijgt 'intentionaliteit' een apriorisch en contrafactisch karakter, en verschilt zodoende radicaal van kenmerken die a posteriori toegekend worden op grond van empirisch waarneembare indicatoren.

3. *Maakt die identificatie ook begrijpelijk hoe de discussie rond de 'Chinese kamer' de indruk kon maken van een (quasi?) religieus dispuut?*

De in het vorige antwoord genoemde onduidelijkheid over de betekenis en bedoeling van het begrip 'intentionaliteit' maakt begrijpelijk dat voor- en tegenstanders van de ambities van 'strong AI' soms langs elkaar heen redeneerden en elkaar niet konden overtuigen. Een levensbeschouwelijk verschil kan daarbij op de achtergrond een rol gespeeld hebben. De voorstanders van een sciëntistische levensbeschouwing zullen immers geneigd zijn om een objectief-empirisch toetsbare definitie van 'intentionaliteit' te verlangen, terwijl degenen die vanuit hun levensbeschouwing een dergelijke benadering als reductionistisch of als inadequaaf ervaren de voorkeur geven aan een andere benadering¹¹⁹.

¹¹⁸ De zinsnede van Smedslund "because we are human" zou dus eigenlijk geformuleerd moeten worden als "because we intend to be human" of "when we intend to be human".

¹¹⁹ Zoals Searle in feite ook doet met zijn introspectie vanuit 'first person case', zie pagina 170.

3 CONCLUSIES

Als afsluiting van dit hoofdstuk wil ik nog twee conclusies formuleren met betrekking tot de kennisbenaderingen die hier in contrast met elkaar zijn voorgesteld.

- Door de tegengesteld gerichte optiek (zie antwoord 1.b hierboven) kan het lijken alsof deze benaderingswijzen elkaar uitsluiten. Daardoor kunnen zij aanleiding geven tot disputen waarbij van beide kanten wordt aangevoerd dat de ander een 'bril' hanteert, en de eigen positie voorgesteld wordt als een brillose kijk op de werkelijkheid zoals die 'echt is'. Ook Husserl gaf daar een voorbeeld van, door het 'natuurlijke wereldbeeld' wél voor te stellen als een 'bril' die men ook achterwege kan laten, maar zijn eigen fenomenologische benadering, via brilloos-directe immanente waarnemingen, als absoluut en onfeilbaar voor te stellen.

Het zal duidelijk zijn dat ik zelf pleit voor een én-én benadering, omdat ik beide benaderingen zie als een 'bril' met elk een eigen recht van bestaan¹²⁰.

- Naar analogie van de in hoofdstuk 2 (§ 3.a) aangehaalde uitdrukking "De mens als schepper en schepsel van cultuur", kan men verdedigen "*dat menselijke geest niet alleen een schepping, maar ook de schepper is van het brein*"¹²¹. De twee zinsdelen uit deze laatste uitdrukking getuigen elk van het gedeeltelijke gelijk van één van de twee brillen. Het eerste zinsdeel geeft diegenen gelijk die stellen dat veranderingen of verstoringen in het brein als fysiologisch systeem directe gevolgen hebben voor het geestelijk functioneren van een mens; het tweede zinsdeel geeft diegenen gelijk die stellen dat het hele wetenschappelijke beeld dat wij van het brein gevormd hebben het product is van menselijke waarnemings- en denkvermogens, en dat het 'brein' in die zin een cultuur-historisch bepaalde constructie is van de menselijke geest; het tweede zinsdeel geeft bovendien diegenen gelijk die stellen dat alles wat wij 'geestelijk' ervaren en leren effect heeft op de fysiologische configuratie van ons

¹²⁰ Een spectaculair voorbeeld van een én-én benadering vond ik in beschrijvingen van de 'Penfield procedure' (Keizer, 2012a, 2012b). Deze procedure wordt soms bij hersenoperaties gebruikt om precies te kunnen bepalen welk stukje hersenweefsel weggehaald kan worden en welk niet. De patiënt wordt tijdens deze ingreep wakker gemaakt zodat deze kan rapporteren wat deze beleeft wanneer een bepaald gedeelte wordt geprikkeld. De chirurg gebruikt bij deze procedure 'observati-
onele kennis' en 'belevingskennis' in aanvulling op elkaar.

¹²¹ In aanvulling hierop zij vermeld dat een aantal auteurs, zoals Damasio (2010), Noë (2012, 2013), en Keizer (2012a) betogen dat er goede redenen zijn om in een dergelijke zin niet alleen het 'brein' te identificeren als complementaire correspondentie van 'geest'. 'Geest' vooronderstelt niet een geïsoleerd brein maar de deel-geheel interactie van brein en lichaam. 'Lichaam' vooronderstelt op zijn beurt de deel-geheel interactie van lichaam en wereld. En, wanneer hier toch over nadenken, en ons realiseren hoe essentieel taal is voor de menselijke geest, kunnen we nog verder aanvullen. Zo gezien kan beter gezegd worden: *de menselijke geest is niet alleen een schepping van de interacties brein-lichaam-medemensen-wereld, maar ook een schepper van die interacties.*

brein (Malabou, 2011). Als geheel geeft deze zin uitdrukking aan de onontwarbare ingewikkeldheid van de verhouding waarin we verwickeld zijn wanneer we nadenken over 'geest' en 'brein'.

Het ligt voor de hand om ook het begrip 'intelligentie' te begrijpen in de context van het bovenstaande. Vermoedelijk kan 'intelligentie', net zoals intentionaliteit, beschouwd worden als een apriorisch kenmerk dat wij in veel gevallen contrafactisch attribueren. Wanneer wij mensen, dieren, of machines opvatten als 'intelligente wezens', dan projecteren wij in eerste instantie onze eigen 'intelligentie', zoals wij die kennen vanuit immanente waarneming bij onszelf, op die andere wezens. Op grond van die projectie verwachten we interactie met een 'tegenover' waarbij ook aan de andere kant sprake is van '*intelligente tegenwoordigheid*'. Maar, als eerste gissingen vereisen projecties in tweede instantie altijd correctie. Bij andere mensen moeten we onze projecties al corrigeren omdat die altijd mank gaan, maar bij dieren geldt dit nog veel sterker omdat er een veel diepere kloof is die hun intelligentie met die van ons doet verschillen. In de omgang met dieren wordt onze 'natuurlijke' verwachting van 'levende tegenwoordigheid' wel bevestigd, in veel gevallen samen met de verwachting van een vorm van 'levende intelligentie', al blijft die grotendeels ondoorgrondelijk voor ons als mensen. Biologen die zich op een zo goed mogelijk begrip van dieren toeleggen moedigen ons daarom aan om kritisch op onze antropomorfe projecties te zijn.

Naar analogie daarvan is het begrijpelijk dat ook apparaten kunnen tegemoetkomen aan de menselijke neiging om 'intelligente tegenwoordigheid' te verwachten en te projecteren, vooral wanneer in voorkomen en gedrag van robots menselijke of dierlijke kenmerken knap geïmiteerd zijn. In het vooruitzicht van een toekomst waarin dergelijke apparaten steeds meer een rol zullen spelen lijkt het mij een belangrijke educatieve taak om bij jonge mensen het besef te stimuleren dat dergelijke apparaten alleen getuigen van leven en van intelligentie die niet van deze apparaten zelf afkomstig zijn.

Tenslotte moet over het begrip 'intelligentie' de opmerking gemaakt worden dat het begrijpen van onze menselijke intelligentie met behulp van diezelfde intelligentie het karakter heeft van een 'Münchhausen-manoeuvre'. Bert Keizer spreekt in dat verband van onontkoombare onwetendheid. Het hoogst haalbare dat wij op dit gebied kunnen bereiken is '*betere onwetendheid*' (2012a, pp. 139-145). Ook het bespreken van deze fundamentele beperktheid van onze intelligentie lijkt mij een belangrijke educatieve taak.

Met deze beknopte kennismaking met de hermeneutische tak van de onderzoeksfamilie hoop ik nu voldoende voorbereid te zijn om in het volgende hoofdstuk de familiekwesaties te kunnen beantwoorden.

HOOFDSTUK 9

Drie familiekwesities

In dit hoofdstuk zullen, op basis van de voorafgaande hoofdstukken, de eerste drie richtvragen beantwoord worden die in de inleiding tot dit deel geformuleerd werden (pagina 109):

1. *Welke sterke kanten en beperkingen, en welke interacties met mens- en wereldbeelden, karakteriseren dit familielid, mathematica, te midden van de familie als geheel?*
2. *Stelt dit familielid specifieke eisen aan de werkwijze bij onderzoek?*
3. *Kan de samenhang tussen 'ondersteuning' en 'vorming' volgens dit familielid beschouwd worden als een modus van onderzoekbare gevolglichheid?*

De antwoorden op de eerste twee richtvragen zullen gebaseerd zijn op samenvattingen van het voorafgaande.

Het antwoord op de derde richtvraag zal gebaseerd zijn op een aanvullende verkenning van tekortkomingen van eenzijdig-wiskundige benaderingen van onderzoek, met name in de schoolpraktijk.

1 POSITIE TE MIDDEN VAN DE FAMILIE

De eerste van de hierboven genoemde richtvragen dient als leidraad voor deze paragraaf:

Welke sterke kanten en beperkingen, en welke interacties met mens- en wereldbeelden, karakteriseren dit familielid, mathematica, te midden van de familie als geheel?

1.a Sterke kanten en beperkingen

Omdat in hoofdstuk 7 al een reflectieve samenvatting en aanvulling van sterke kanten en beperkingen is uitgewerkt, zal ik de daarin beschreven sterke kanten en beperkingen nu zonder argumentaties en sterker gecomprimeerd samenvatten:

1. Wiskunde berust op de mogelijkheid om in concrete systemen, via idealiseren en abstraheren, generieke vormen te herkennen.
2. Deze herkenning gaat samen met de ontwikkeling van wiskundige taal, waarin deze generieke vormen beschreven worden, en waarvan de innerlijke logica correspondeert met gevolglichheden van deze generieke vormen. Zodoende heeft zich binnen de wiskunde de dualiteit ontwikkeld van 'originele systemen' in relatie tot 'model systemen'. De relatie binnen deze dualiteit houdt in dat de innerlijke logica van een model moet corresponderen met de gevolglichheid die inherent is aan het originele systeem.

3. Een wiskundig model (wiskundige theorie) functioneert zodoende als een 'bril' door middel waarvan gevolglijkheden van generieke vormen (oorspronkelijk van geometrische of numeriek-rekenkundige aard) expliciet en onderzoekbaar gemaakt worden.
4. Het is een sterke kant van deze bril dat men gevolglijkheden kan herkennen en begrijpen die algemeen geldig zijn voor hele categorieën van objecten. Het bewijs van de stelling van Pythagoras verzekert bijvoorbeeld dat de relatie $a^2 + b^2 = c^2$ noodzakelijk moet opgaan voor alle rechthoekige driehoeken die kunnen bestaan. De kracht van het bewijs impliceert dat toetsing per geval overbodig is.
5. Deze sterke kant impliceert de beperking dat de wiskundig bril berust op het afzien van onregelmatigheden, onzuiverheden, of unieke kenmerken. Generaliseerbare aspecten worden 'tot begrip gebracht' en het unieke verdwijnt uit beeld.
6. Zuivere wiskunde berust op eenzijdige belangstelling voor generieke structuren en gevolglijkheden. Aan het inzicht in deze structuren en gevolglijkheden wordt intrinsieke waarde toegekend. Concrete of individuele instanties van deze algemene structuren zijn slechts interessant voor zover zij nuttig zijn als illustratie, als kritische toets, en dergelijke. Deze eenzijdigheid belichaamt tegelijk kracht en beperktheid.
7. Al vrij vroeg in de geschiedenis van wiskunde (Euklides) werd een systematiek ontwikkeld voor de constructie van modeltalen. Een systematiek, die het mogelijk maakt dat de innerlijke logica van een model exact correspondeert met de gevolglijkheden van wiskundig te onderzoeken formele systemen op een bepaald gebied. Deze systematiek heet 'axiomatisch' en impliceert dat de constructie van een dergelijk systeem berust op elementaire definities, elementaire stellingen en afleidingsregels.
8. De axiomatische systematiek werd in de loop der tijd steeds verder ontwikkeld en verfijnd. Het doel van die ontwikkeling wordt sinds de 19^e eeuw benoemd als 'formaliseren'. Daarmee wordt bedoeld dat de innerlijke logica van een modeltaal de weer te geven gevolglijkheden van wiskundige objecten zuiver en compleet moet belichamen. Dat impliceert dat de interne regels voor het opereren met begrippen en symbolen dermate expliciet en volledig moeten zijn, dat een uitvoerder geen kennis meer nodig heeft van de inhoudelijke betekenis van die begrippen en symbolen. Kortom: dat de modeltaal volkomen gezuiverd is van alle semantiek. De *Principia Mathematica* van Russell en Whitehead bevatte voor het eerst een axiomatisch systeem dat geheel aan deze eisen voldeed, en dat bovendien recht kon doen aan de complexiteit van traditionele rekenkunde als één van zijn realiseringen. Sindsdien berust een axiomatisch systeem op afspraken over: een lijst van toegestane symbolen, formatieregels, transformatieregels, en primitieve formules. Strikt formeel geformuleerde beweringen heten sindsdien 'formules', en het axiomatische systeem wordt aangeduid als 'calculus'.
9. Geformaliseerde axiomatische systematiek bleek in twee opzichten een kracht te vertegenwoordigen:

- De wiskunde kon zich bevrijden van de waarheidsvraag. Omdat een zuiver formeel model geen semantische banden meer heeft met concreet bestaande systemen, kan met deze systemen vrij 'gespeeld' worden zonder zich af te hoeven vragen of er iets bestaat dat ermee overeenkomt. Zodoende kwam 'de kracht van mathematische verbeelding' in veel sterkere mate ter beschikking dan voorheen. Verschillende andere wetenschappen konden profiteren van de nieuwe 'denkmodellen' die dit opleverde.
 - Het toepassingsgebied van wiskunde kon zich sterk uitbreiden. Het bleek dat niet alleen geometrische en numerieke structuren axiomatische formalisering toelaten, maar dat ook de logica van taalstructuren (inclusief de eigen deductieve systemen van wiskunde), de logica van besluitvormingssystemen, en vele andere soorten van gevolgblijkheid, een dergelijke formalisering toelaten. Zodoende kreeg wiskunde een nieuwe identiteit als wetenschap van formaliseerbare structuren in het algemeen.
10. Het winnen aan kracht bleek echter na korte tijd gepaard te gaan met de ontdekking van beperkingen. De formele 'losmaking' van modellen maakte in de eerste plaats de vraag naar *consistentie* dringend. Consistentie is een absolute vereiste voor deductieve systemen. Zolang men weet dat een model een stabiele realisering heeft, hoeft men zich over consistentie geen urgente zorgen te maken. Maar, bij systemen die los van realiseringen zijn ontwikkeld is consistentie een dringende open vraag.

Een tweede open vraag, was de vraag naar *volledigheid*. Hoe weten we zeker dat *alle* gevolgblijkheid die eigen is aan een 'origineel systeem' correspondeert met geldige afleidingen binnen een axiomatisch georganiseerd model? Zijn de afgesproken regels en axioma's daartoe voldoende?

In reactie op deze vragen bewees Kurt Gödel, voor iedere formeel-axiomatische calculus C , die verfijnd genoeg is om rekenkunde als één van zijn realiseringen te kunnen 'verdienen':

- a. Indien C consistent is, dan is zij onvolledig.
- b. Indien C consistent is, dan kan die consistentie niet bewezen worden (volgens C 's eigen logica).

In andere woorden:

- a. Indien een axiomatisch systeem consistent is (hetgeen in het geval van traditionele disciplines zoals meetkunde of rekenkunde zeer waarschijnlijk is) dan moeten er binnen het originele systeem gevolgblijkheden bestaan, waaraan in het axiomatische model geen recht gedaan kan worden door middel van een bewijs.
- b. De consistentie van model-systemen zoals C kan niet binnen C zelf bewezen worden. Men heeft dan een nieuw systeem nodig dat verfijnder en uitgebreider is dan C zelf. Maar, om de consistentie van dat nieuwe systeem te kunnen bewijzen heeft men weer een nog verfijnder systeem nodig ... en zo tot in het oneindige.

Conclusies:

- a. Vele wiskundige model-systemen kunnen in hun logica principieel geen volledig recht doen aan de gevolgtrekkingen van hun origineel.
- b. Vele wiskundige model-systemen kunnen hun logische betrouwbaarheid niet zelf bewijzen, maar zijn daartoe aangewezen op de ontwikkeling van een waarschijnlijk eindeloze reeks van meer verfijnde systemen.

Hoewel deze beperkingen fundamenteel en ingrijpend zijn, kan ook gesteld worden dat het wel een krachtige prestatie van de wiskundige discipline is, dat zij volgens haar eigen regels deze beperkingen zelf kan bewijzen.

11. Deze prestatie riep vervolgens de vraag op, of de door Gödel bewezen beperkingen verklaard kunnen worden als gevolg van een eigenschap van formele calculi. Church en Turing vonden een antwoord op die vraag, door de 'semantisch blinde' werkwijze van een uitvoerder van een zuiver formele berekening of redenering te vergelijken met de eveneens 'semantisch blinde' werkwijze van een computer die over een geheugen beschikt. Via deze vergelijking identificeerden zij de *eindige recursieve step-by-step werkwijze* die in beide gevallen gevolgd wordt, als de fundamentele oorzaak van deze beperkingen. Via het formaliseren van deze werkwijze konden zij bovendien een aantal (categorieën van) vraagstukken identificeren die niet bewijsbaar of niet berekenbaar zijn.
12. Anderzijds tonen de successen van de informatica ook aan dat het gebied van systemen en gevolgtrekkingen die zuiver formele modelvorming toelaten zeer groot is.
13. De controverse rond het denkexperiment van de 'Chinese kamer' is vervolgens gebruikt om te illustreren hoe in de 80er jaren van de vorige eeuw een heftige discussie gevoerd werd tussen onderzoekers, die ervan overtuigd waren dat computersystemen in principe adequate modellen kunnen bieden van de werking van de menselijke geest, en hun opponenten. John Searle betoogde, als woordvoerder van de oppositie, dat het intentionele karakter van de menselijke geest ('aboutness') impliceert dat een computermodel van die geest op semantisch niveau zou moeten functioneren, en dat dit nu juist voor software of calculi die van alle semantiek gezuiverd zijn onmogelijk is.
14. De verdere ontwikkeling van Artificial Intelligence, en de discussies rond de mogelijkheden en beperkingen daarvan, geven aanleiding tot het vermoeden dat wiskundig-formele modelvorming al bij de intelligentie van levende systemen op een grens stuit. Het is aannemelijk dat niet alleen het menselijke brein en menselijke intelligentie, maar meer in het algemeen biologische systemen, opereren op een wijze die, vanwege fundamentele verschillen (hun organisatie is niet ontworpen maar gegroeid), niet (volledig) te verklaren is via zuiver formele of gesyntactiseerde modelvorming.

Zoals hierboven bij het 9e en het 12e punt genoemd werd, is in de loop van de ontwikkeling van wiskunde en andere familieleden duidelijk geworden dat er vele gebieden zijn, en vele soorten van gevolgtrekking, die (gedeeltelijke) formalisering toelaten. De fysieke wetenschappen, die in het volgende deel aan de orde komen, hebben bijvoorbeeld

zelfs hun ontstaan aan die toepasbaarheid te danken. En dit geldt ook voor een aantal andere familieleden. Daarnaast zijn er ook takken van wetenschap die wiskundig-statistische methoden gebruiken om op het spoor van gevolglijkheden te komen, waarbij de *aard* van die gevolglijkheden later nog bepaald moet worden. Omdat zoveel andere leden van de onderzoeksfamilie op de één of andere wijze van wiskunde gebruik maken, hebben zij ook een aantal van de hier genoemde sterke kanten en beperkingen van wiskunde geërfd. Wiskunde neemt dus, vanwege al deze toepassingen en vanwege haar ouderdom, in deze familie een centrale positie in.

In hoofdstuk 8 is echter een benadering geïntroduceerd die radicaal verschilt van de wiskundige benadering, en die dus in de familie een geheel andere positie inneemt. Deze andere benadering, de fenomenologische of hermeneutische, speelt een belangrijke rol zodra kenmerken, waar de wiskundige benadering juist van afziet, zoals het unieke of het semantische, van belang zijn voor onderzoek. In het vervolg van deze paragraaf zal blijken dat met name onderzoek naar de samenhang tussen ondersteuning en vorming samenwerking met deze andere benadering van onderzoek vereist.

1.b Interacties met mens- en wereldbeelden

Ook de interacties met mens- en wereldbeelden zal ik hier, opnieuw met weglating van veel argumentatie, gecomprimeerd samenvatten op grond van de al in hoofdstuk 7 gegeven samenvattende en aanvullende beschrijvingen. Hoewel mens- en wereldbeelden nauw samenhangen zal ik beginnen bij de interacties met wereldbeelden.

Wereldbeelden

De verleiding om te geloven, dat de wiskundig onderzoekbare en formaliseerbare aspecten van de wereld ook de essentiële aspecten van de wereld zijn, is zo oud als de wiskunde zelf. Wiskunde heeft, zolang als zij bestaat, aanleiding gegeven tot het vormgeven aan wiskundig-essentialistische wereldbeelden. Dat begon al bij de oude Grieken, die geloofden dat de eeuwige en universele wiskundige vormen, die het duidelijkst aan de banen van hemellichamen te herkennen zijn, eeuwige en universele essenties betreffen en daarom een hoog verheven status en waarde hebben. De keerzijde was minachting voor alle grofstoffelijke, vergankelijke en onzuivere aspecten van de wereld waar een wiskundige benadering van afziet.

Vanaf de 16e eeuw werd dit essentialistische wereldbeeld geïncorporeerd in een christelijke levensbeschouwing, en kreeg toen de gedaante van het geloof in een Grote Mathematicus die bij de schepping van de wereld wiskundig tewerk is gegaan.

In de 20e eeuw gaf Gödels werk vanuit de wiskunde zelf aanleiding tot een meer bescheiden wereldbeeld. Zelfs binnen de wiskunde blijkt men al te stuiten op vormen van complexiteit waaraan wiskundige modellen slechts onvolkomen recht kunnen doen. De wiskunde blijkt bovendien niet in staat om zichzelf van een fundament te voorzien, laat staan om de hele wereld van een essentieel fundament te voorzien. Deze ontwikke-

lingen versterken het vermoeden dat ook wiskunde betrekkelijk, beperkt, en tijdgebonden mensenwerk is.

Desondanks geven indrukwekkende successen van wiskundige toepassingen tot in de 21e eeuw steeds opnieuw aanleiding tot de vorming van essentialistische wereldbeelden. Een voorbeeld daarvan biedt de Nederlandse fysicus 't Hooft, van wie op pagina 118 geciteerd werd: "*... we wonen in een wereld die heel nauw luistert naar de wetten van de wiskunde. Die wiskunde is moeilijk maar kan helemaal begrepen worden*".

Mensbeelden

Essentialistische wereldbeelden impliceren uiteraard ook specifieke mensbeelden. Wanneer de wereld in essentie luistert naar de wetten van de wiskunde, dan heeft de menselijke geest, met name dankzij het vermogen om wiskundig-logisch te denken, eveneens een hoog verheven status en waarde. Ook deze interactie met specifieke mensbeelden is zo oud als de wiskunde zelf. Vandaar dat al volgens de oude Grieken de 'geest' veel hoger stond aangeschreven dan het lichaam, en dat het 'geestesoog' veel belangrijker werd geacht dan lichamelijke zintuigen.

De ontdekking in de 20e eeuw, dat wiskundig-formele wijzen van rekenen en redeneren in maakbare machines kunnen worden ingebouwd, gaf aanleiding tot nieuwe denkbeelden en discussies over de mens, en met name over de menselijke geest. Aan de ene kant staan de onderzoekers en denkers die geloven, dat deze ontwikkeling 'bewijst' dat alle vermogens van de menselijke geest (inclusief wiskundig onderzoek) in principe technisch maakbaar zijn. En vervolgens dat deze ontwikkeling ook bewijst, dat machines op den duur de prestaties van de menselijke geest in alle opzichten verre zullen overtreffen (superintelligentie). Aan de andere kant staan de onderzoekers en denkers die betogen dat dergelijke scenario's uitdrukking zijn van ongefundeerde mythevorming. In de wiskundige gemeenschap zijn deze denkers en onderzoekers te herkennen aan de blijvende rol die zij toekennen aan creatieve intuïtie als een nooit volledig technisch na te maken vermogen.

Een merkwaardige consequentie voor het mensbeeld van de volgelingen van 'strong AI' is, dat dit ene sterk ingeperkte aspect van de menselijke geest, dat in machines kan worden ingebouwd (het machinale denken), zó hoog geacht wordt dat 'machine-intelligentie' hoger wordt aangeslagen dan de complete menselijke geest. De verheffing van het 'machine-beeld' komt in mindering op het mensbeeld! Aan de andere kant staan de wiskundige denkers en onderzoekers die graag alle nieuwe mogelijkheden van kunstmatige intelligentie gebruiken, maar ook benadrukken dat het gebruik van niet-machinaal intuïtief denken een noodzakelijke fase blijft van de wiskundige werkwijze. Zij beschouwen kunstmatige intelligentie als krachtig hulpmiddel in handen van mensen, dat zeker niet in mindering komt op achting voor de creatieve vermogens van de menselijke geest.

Een tegenwicht tegen de verleiding tot overschatting van de mens bieden daarbij de waarschuwingen voor de reële risico's, die met de ontwikkeling van kunstmatige intelligentie gepaard gaan. AI is niet alleen een krachtig hulpmiddel in handen van mensen die er iets goeds mee willen doen, maar ook in handen van mensen met slechte bedoelingen.

De opgave om ook adequaat met de schaduwzijden van de 'menselijke natuur' om te leren gaan is er, met de komst van kunstmatige intelligentie, niet eenvoudiger op geworden.

Familie-verhoudingen

Zo gezien neemt de wiskundige tak van de familie binnen de gehele familie een ambivalente positie in. De wiskundigen die een essentialistisch of informatie-technocratisch wereld- en mensbeeld aanhangen achten zichzelf beter dan de rest, en zullen alleen met andere familieleden willen samenwerken wanneer die een dienende rol aanvaarden. Aan de andere kant staan de wiskundigen die de inperkingen, vereenvoudigingen en verwaarlozingen die wiskunde toepast om haar beperkte modus van kennis te ontwikkelen niet willen vergeten. Zij geloven dat de 'volle werkelijkheid' veel complexer is dan wiskundig voorgesteld kan worden, en dat ook de menselijke geest veel complexer is dan het 'machinale denken', dat van oudsher zijn neerslag vindt in bewijzen en berekeningen, en dat sinds kort ook zijn neerslag vindt in rekenende en redenerende machines. Zij zullen graag samenwerken met andere familieleden, en ervoor openstaan dat zij van hen kunnen leren, omdat een multidisciplinaire benadering meer recht kan doen aan de complexiteit van mens en wereld.

2 EISEN AAN DE WERKWIJZE

De richtvraag voor deze paragraaf luidt: *Stelt dit familielid specifieke eisen aan de werkwijze bij onderzoek?*

Voor een groot deel van de eisen die aan de mathematische werkwijze gesteld worden moet verwezen worden naar de regels die verbonden zijn met het streng gereguleerde deel van wiskunde. Om op dit gebied onderzoek te kunnen doen moet de onderzoeker goed vertrouwd zijn met de regels van dit spel (c.q. deze bril), en moet hij binnen die regels kunnen 'spelen'.

Dit impliceert dat een wiskundige, bij het ontwerpen van een nieuwe berekening of redenering, zich scherp bewust is van de eisen waaraan een zuiver formele denkwijze binnen de regels van een calculus moet voldoen, en bij de uitwerking van logische stappen de exacte nauwkeurigheid moet betrachten die daartoe nodig is. En ook, wanneer een wiskundige een reeds gemaakte berekening of bewijsvoering (van een ander of van zichzelf) op correctheid wil toetsen, dan moet hij de discipline kunnen opbrengen om 'semantisch blind' te redeneren.

Zoals in hoofdstuk 7 (§ 8) is samengevat en aangevuld, zijn er echter ook belangrijke delen van het wiskundige werk die niet, of veel minder, gereguleerd zijn.

- Zo zijn er in het algemeen al *binnen* een bestaande calculus tal van problemen waarvoor geen kant en klare procedures beschikbaar zijn, zoals het oplossen van sommige soorten van vergelijkingen, of het vinden van bewijzen voor stellingen.
- Daarnaast zijn er tal van vraagstukken (zoals Gödels probleem) die niet in de context van een bestaande welgedefinieerde calculus geformuleerd zijn, die soms vragen om een nieuwe of verbeterde calculus, en waarvoor eveneens geen navolgbare richtlijnen of procedures voorhanden zijn.

Vele wiskundigen karakteriseren deze delen als het creatieve aspect van hun werk, en hechten een groot belang aan 'wiskundige intuïtie'.

Zoals in hoofdstuk 7 (§ 9) samenvattend is betoogd, sluit ik mij in deze studie aan bij de onderzoekers die ervan overtuigd zijn dat de creatieve intuïtie van wiskundigen een nooit geheel kunstmatig na te maken vermogen is. De combinatie van strikt-formele logica en creatieve intuïtie vereist van wiskundigen dat zij goed kunnen schakelen tussen deze beide zeer verschillende benaderingen. Het fasenmodel van Poincaré (pagina 209) geeft een beeld daarvan:

a. *Voorbereiding.* Binnen deze 'inwerkfase' moet geschakeld worden tussen beide benaderingen.

Wiskundigen zullen in deze fase, strikt logisch tewerk gaande, proefberekeningen maken, deelbewijzen opstellen volgens bekende procedures, of eerder werk van collega's doornemen. Voor sommige geheel in kaart gebrachte gedeelten van dit logische werk zijn tegenwoordig computerprogramma's beschikbaar. Een wiskundige moet daarmee bekend zijn, en in staat zijn om deze hulpmiddelen te gebruiken.

Daarnaast zullen zij op speelse wijze op een schoolbord klieren, gesprekken voeren, et cetera; en zich daarbij laten leiden door analogieën, metaforen, paradoxen, dromen en plotselinge invallen. Voor dit intuïtieve deel van het werk geldt dat wiskundigen daarvan uit ervaring leren, en dat veel ervaring helpt om in deze fase beter te presteren. In sommige delen van dit heuristische werk kunnen zoekstrategieën ontdekt worden die zo vergaand duidelijk en expliciet te maken zijn, dat zij gesyntactiseerd kunnen worden (niet zonder gebruikmaking van intuïtie door programmeurs) en uitbesteed aan de 'brute rekenkracht' van computers (pagina's 157, 160 en 209). Wanneer dit van toepassing is zal een wiskundige niet aarzelen om daar gebruik van te maken.

b. *Incubatie- of sluimerperiode.* In deze fase krijgt het 'slimme onbewuste' van wiskundigen ruim baan om aan het probleem te werken. Hoe het onbewuste dit aanpakt is niet na te gaan, maar het vermoeden ligt voor de hand dat het onbewuste zich daarbij niet beperkt tot rechtlijnige (recursieve) logica. Iedere wiskundige moet individueel leren hoe hij hiervoor ruimte moet maken, en hoe hij hierop kan vertrouwen.

c. *Verlichting.* Deze fase is het moment waarop het hiervoor genoemde vertrouwen wordt beloond. Over de komst van dit moment is geen zekerheid te geven, en daarom is het inderdaad een kwestie van vertrouwen. Hoewel wiskunde gericht is op het verkrijgen van resultaten met een hoge graad van zekerheid, moet een wis-

kundige dus ook leren om met onzekerheid om te gaan. Bovendien is ook deze verlichting niet onfeilbaar, en moet zij geverifieerd worden.

- d. *Verificatie*. In deze fase moet de wiskundige weer schakelen naar de modus van strikt formeel-logisch redeneren of rekenen. Uit de aard der zaak leent deze fase zich ook voor automatisering, en zijn er tegenwoordig kunstmatig intelligente hulpmiddelen die de wiskundige hierbij kan inschakelen. Dit gebruik vereist dan weer dat de wiskundige goed doorziet hoe deze hulpmiddelen werken en waar hun beperkingen liggen.

Tenslotte zij opgemerkt dat wiskunde bepaald niet alleen staat in haar gebruik van 'geschoolde intuïtie'. Onderzoekers zoals Dijksterhuis (2007) en Csikszentmihalyi (1998) maken duidelijk dat wiskunde dit gebruik deelt met alle andere leden van de onderzoeksfamilie, en met tal van andere disciplines op gebieden zoals kunst, sport, politiek, of ondernemerschap.

3 IS DE SAMENHANG TUSSEN ONDERSTEUNING EN VORMING ONDERZOEKBAAR?

Kan de samenhang tussen 'ondersteuning' en 'vorming' volgens dit familielid beschouwd worden als een modus van onderzoekbare gevolglichheid?

3.a Context van de vraag

Voor het antwoord op deze vraag moet ik nu eerst de context waarin deze vraag opkwam weer in de herinnering terugroepen. Die context is het 'gevolglichheidsprobleem' dat in hoofdstuk 2, § 4.b, aan de orde werd gesteld. Dit probleem kwam voort uit de ontdekking dat de samenhang tussen 'ondersteuning' en 'vorming' niet het karakter heeft van 'gewone causaliteit'. Deze bijzondere samenhang werd vergeleken met de dynamiek van de dialoog, die rond de eeuwwisseling van 19e naar 20e eeuw beschreven werd als een nieuw 'oermodel' (paradigma) voor een bijzondere samenhang in creatieve interacties tussen mensen. Zoals het antwoord in een echt gesprek in zekere zin wel volgt uit de vraag, omdat het een antwoord daarop is; maar de vraagsteller aan de andere kant ook hoopt op een antwoord dat nieuw en verrassend is, zo is het ook met ondersteuning en vorming.

Deze voorstelling van zaken kwam voort uit een betoog over 'vorming', en over de ondersteuning daarvan in het onderwijs, dat in hoofdstuk 2 daaraan vooraf ging. Het lijkt mij goed om deze voorstelling nu op nieuw te verlevendigen aan de hand van één van de voorbeelden van vorming die in hoofdstuk 2, § 3.a, gegeven werden:

Het eerste voorbeeld betrof *de vijfjarige Nessa, die op de terugtocht uit school naar huis op de achterbank van de auto versjes zong. Versjes die zij op school geleerd had, maar waar zij met veel plezier van alles bij verzon. Met lange uithalen en trillers galmde zij*

melodieën die haar te binnen schoten, en in de woorden die zij zong volgde zij de leukste en gekste associaties die bij haar opkwamen.

In de "lange uithalen en trillers" en in de "leukste en gekste woorden" zijn de creatieve 'antwoorden' te herkennen waarmee een kind kan reageren op de inbreng van een leerkracht. Deze spontane vormgevende acties van het kind beschouw ik als een manifestatie van vorming¹²² voor zover zij niet herleidbaar zijn tot de inbreng van de leerkracht. Wanneer dit variëren op melodieën en woorden niet is 'voorgezegd' dan heeft het kind kennelijk zelf de ruimte genomen om met eigen vormgeving te reageren op het aanbod van de leerkracht.

Bij de ondersteuning, die een leerkracht kan bieden om vorming te bevorderen, kan men zich onder andere voorstellen dat zij:

- met belangstelling¹²³ reageert op creatieve variaties van kinderen, in plaats van eigen vormgeving categorisch te verbieden;
- in vertrouwen op de vermogens van leerlingen om 'zelf-ontdekkend te leren', bewust niet alle mogelijkheden voorkauwt om met eigen variaties te experimenteren, maar de reacties van leerlingen afwacht;
- de unieke vorming van iedere leerling observeert; ieders 'zone van naaste ontwikkeling' inschat, en haar aanbod daarop afstemt;
- de ruimte laat, en ervoor open staat, om zich steeds opnieuw te laten verrassen door nieuwe manifestaties van eigen vormgeving door leerlingen;
- het ook accepteert wanneer leerlingen aangeven dat hun interesse in eigen vormgeving op andere gebieden ligt dan bij muziek en zang;
- et cetera ...

3.b Formeel onderzoekbare samenhang tussen vorming en ondersteuning

De derde familiekwestie kan nu, met behulp van het bovenstaande voorbeeld, geconcretiseerd worden: *Kan een samenhang, zoals die bijvoorbeeld vermoed kan worden tussen de uitingen van vormgeverschap bij Nessa en de ondersteuning door haar leerkracht, volgens de wiskunde beschouwd worden als een modus van onderzoekbare gevolglijkheid?*

Het zal geen verbazing wekken dat een wiskundig ingestelde onderzoeker deze vraag zonder moeite met "ja" zal beantwoorden. Hij zal immers direct denken aan de mogelijkheden die zijn statistische gereedschap biedt, om na te gaan of er een samenhang is, tussen een observeerbare manifestatie van vorming (V) aan de kant van de leer-

¹²² Zie de samenvatting in hoofdstuk 2, § 3.a / *Samenvatting*: "vorming is leren om (...) geïnspireerd en creatief vorm te geven aan aspecten van maatschappij en cultuur, en daarmee ook aan het eigen leven en aan zichzelf."

¹²³ Belangstelling, die niet alleen waarderend maar ook kritisch moet zijn. Leerlingen zullen bijvoorbeeld soms de grenzen van de geboden ruimte opzoeken (in woordgebruik, gillen, ...) om te ontdekken waar de grenzen liggen, en om te toetsen of de leerkracht in staat is om grenzen te handhaven.

ling en een eveneens observeerbaar aspect van leerkrachtgedrag (O). Met behulp van statistische methoden kan hij nagaan of het samengaan van een kenmerk van V en een kenmerk van O voorzichtigheidshalve aan het toeval toegeschreven moet worden, óf dat dit samengaan toch zó sterk gecorreleerd is, dat redelijkerwijs aangenomen kan worden dat er een samenhang is. Bovendien kan hij met deze zelfde methoden ook bepalen, in termen van kansen, hoe sterk de samenhang is. Men kan bijvoorbeeld bepalen dat ondersteuningskenmerk O_1 een kans oplevert van 60% op het voorkomen van vormingskenmerk V_1 . Geheel in de stijl van de wiskundige benadering is een dergelijke bepaling van samenhang zuiver formeel. Over de inhoudelijke aard van de samenhang kan, op grond van deze benadering, geen enkele conclusie getrokken worden. Het enige dat via dergelijk onderzoek vastgesteld wordt is, dát er waarschijnlijk een samenhang is. De aard van de gevolgijsheid die O_1 met V_1 doet samenhangen wordt geheel in het midden gelaten. Of deze samenhang toegeschreven moet worden aan een causale relatie volgens de logica van het traditionele causaliteitsdenken, of aan een andere soort van gevolgijsheid, volgens het in hoofdstuk 2 (§ 4.b) geformuleerde vermoeden, daarover kan op grond van statistiek geen uitspraak gedaan worden.

Om de wiskundig georiënteerde werkwijze bij dergelijk onderzoek te verduidelijken zal ik deze, aan de hand van het voorbeeld van Nessa en haar leerkracht, in gedachten enigszins concretiseren.

Een wiskundig opgeleide onderzoeker kan proberen om de veronderstellingen over de gegeven ondersteuning, die bij het voorbeeld genoemd werden, aan te scherpen tot toetsbare hypothesen. Neem bijvoorbeeld het kenmerk dat de leerkracht met belangstelling op creatieve variaties van leerlingen reageert, in plaats van die categorisch te verbieden. De onderzoeker zal dan dit kenmerk willen transformeren tot een variabele (of combinatie van meerdere variabelen) die algemeen toepasbaar is op leerkrachtgedrag, en die zodoende kan dienen als uniforme maatstaf waaraan 'belangstelling' als kenmerk van leerkrachtgedrag kan worden afgemeten. Daarnaast zal deze onderzoeker ook het kenmerk 'vorming' willen transformeren tot een variabele (of combinatie van ...), die eveneens kan dienen als uniforme maatstaf waaraan leerlinggedrag gemeten kan worden. Deze laatste variabele krijgt de rol van 'afhankelijke variabele' en de eerste die van 'onafhankelijke variabele'. Wanneer deze onderzoeker bij leerlingen wil nagaan of er voor hen een merkbaar verband bestaat tussen 'belangstelling' en 'vorming' dan zal hij deze variabelen verder moeten specificeren in 'indicatoren' (door leerlingen waarneembare elementaire aspecten van de variabele). Deze indicatoren vormen weer het uitgangspunt voor de constructie van een 'meetinstrument' (bijvoorbeeld de items voor een vragenlijst).

Het lijkt mij goed om op te merken dat de onderzoeker bij dit ontwikkelwerk ook hermeneutische problemen moet oplossen. Lastige problemen bij het formuleren van de vragenlijst zijn bijvoorbeeld de kwesties, of alle leerlingen dezelfde betekenissen zullen toekennen aan de items van de vragenlijst, en of de betekenissen die zij eraan toekennen wel overeenkomen met de kenmerken die de onderzoeker via hen wil meten. In het alge-

meen zijn deze problemen niet volledig op te lossen, en impliceren zij een marge van onzekerheid in de uitkomsten van het onderzoek. Wanneer onderzoekers zich bovendien realiseren dat hun uitkomsten, in dit voorbeeld, geheel gebaseerd zijn op waarnemingen en subjectieve interpretaties van leerlingen (en op die interpretaties weer gebaseerde interpretaties van de onderzoekers) dan zullen zij het typeren en relativeren als 'perspectief-onderzoek'.

Wanneer dit alles met de nodige zorgvuldigheid is uitgevoerd, dan kan een meting uitgevoerd worden onder een steekproef van leerlingen, en op basis van de data die deze meting oplevert kan wiskundig-statistisch bepaald worden of er een samenhang is tussen 'belangstelling' en 'vorming', die dermate 'significant' is dat deze samenhang niet aan toeval kan worden toegeschreven.

Dit voorbeeld laat zien hoe een wiskundig georiënteerde onderzoeker in staat is om een bevestigend antwoord te geven op de derde familiekwestie. Deze onderzoeker kan antwoorden *dat het mogelijk is om de samenhang tussen 'ondersteuning' en 'vorming' te beschouwen als een onderzoekbare gevolglijkheid, mits men de moeite neemt om de vage concepten 'ondersteuning' en 'vorming' in te perken en te operationaliseren tot meetbare variabelen.*

3.c Wiskundige interesse als norm voor vorming en ondersteuning

De hierboven geschetste wiskundige ingestelde onderzoeker doet geen uitspraken over de aard van de gevolglijkheid die de samenhang tussen vorming en ondersteuning bewerkstelligt. Ondanks zijn formele opstelling berust zijn benadering echter ook op een inhoudelijke aanname. Een aanname, die nauw verband houdt met de inhoudelijke interesse die wiskundigen motiveert.

Naar aanleiding van de eerste familiekwestie vatte ik de wiskundige interesse samen als "eenzijdige belangstelling voor generieke structuren en gevolglijkheden" (pagina 230, punt 6). De wiskundig ingestelde onderzoeker, die op de hiervoor geschetste manier te werk gaat, volgt in zijn werkwijze toch ook deze inhoudelijke interesse. Hij transformeert niet voor niets waarneembare kenmerken tot generieke variabelen. Dat heeft alleen zin vanuit de aanname dat het ook in dit geval generieke structuren en gevolglijkheden zijn die de samenhang bepalen, en die interessant zijn. Ook al laat hij voor een deel de aard van die samenhang in het midden, hij neemt wel aan dat het een soort van generieke samenhang is, die in dat opzicht verwant is aan de formele samenhangen waar wiskundigen in geïnteresseerd zijn (en verstand van hebben).

In verband met de doelstelling om reductionisme te vermijden (zie deel I, hoofdstuk 3, § 3.a) lijkt het mij van belang om nu na te gaan wat het gevolg zou zijn, wanneer wiskundig ingestelde onderzoekers er van uit zouden gaan dat generieke vormen en structuren ook de *enige* waarden vertegenwoordigen die de moeite waard zijn om er niet alleen ons kennen, maar ons hele leven aan te wijden.

De geschiedenis laat zien dat dergelijk extreem reductionisme wel degelijk kan voorkomen, en aanhang kan verwerven. Zoals ik al eerder schreef (pagina 114 e.v.) heerste bij de oude Grieken in ruime kring, en gedurende lange tijd, het geloof in de hogere waarde van het universele en formele ten opzichte van het concrete en unieke, niet alleen als algemene norm voor wetenschap, maar ook als algemeen-menselijke waarde. Bij Plato kunnen we lezen wat het effect daarvan is voor zijn visie op de leerweg van een jonge man die zich op het pad van de liefde begeeft, en op de ondersteuning die hij daar - bij nodig heeft.

Plato beschrijft hoe bij een symposium¹²⁴ verschillende sprekers hun visie op de liefde presenteren. Als laatste spreker neemt Socrates het woord, en deze legt zijn visie op de liefde in de mond van een wijze vrouw, met de naam Diotima¹²⁵. Om uit te leggen wat de uiteindelijke zin van het menselijke vermogen tot liefde is, beschrijft zij de leerweg die ieder mens te gaan heeft op het pad der liefde. Tevens beschrijft zij dat het de taak is van een begeleider om een jonge man te helpen om op deze weg niet in een fase te blijven steken, maar steeds naar een volgende fase verder te gaan. Voor een jonge man hebben verliefdheid en liefde nog een sterk lichamelijk karakter. Dat is goed, maar ook een fase die voorbij moet gaan. Na de verliefdheid op de schoonheid van één lichaam, komt de jonge man (als het goed is) tot het inzicht dat schoonheid een kenmerk is dat meer lichamen op verschillende wijzen tonen, en wordt hij verliefd op alle schone lichamen tezamen. Weer een fase verder zal hij ontdekken dat 'de schoonheid der zielen' een hogere waarde heeft dan lichamelijke schoonheid. Daarna volgt de fase waarin deze man de meer abstracte schoonheid van universele normen en regels van wetenschappen en van moreel handelen als nog beminnenswaardiger leert zien. "Wie zich immers tot zover op het gebied der liefde heeft laten voeren door zijn geleider (...) die zal uiteindelijk, Eros' laatste inwijding nabij, plotseling in volle helderheid een schoonheid van wonderbaarlijke aard aanschouwen" (Plato, 1966, p. 145). Het uiteindelijke doel van deze leerweg is, volgens deze visie, dat een mens met zijn 'geestesoog', schoonheid in haar meest algemene betekenis, en in haar volmaaktheid leert schouwen en beminnen. Alle concrete manifestaties van schoonheid zijn vergeleken met 'dé Schoonheid', als generiek-ideële vorm, onvolmaakt en vergankelijk, en achteraf gezien alleen nuttig voor zover zij als aanleiding konden dienen om uiteindelijk de absolute, eeuwige en universele 'Idee van Schoonheid' te leren schouwen en beminnen.

Dit voorbeeld maakt duidelijk dat wiskundige passie, die naast zichzelf geen andere gelijkwaardige vormen van betrokkenheid of commitment (er)kent, inderdaad een probleem kan veroorzaken. Het probleem, dat het verschijnsel 'liefde' gecensureerd wordt door de normatieve bril van deze passie, met het gevolg dat concrete liefde tussen concrete mensen slechts nuttig wordt geacht als opstap naar de liefde voor een abstracte en universele Idee. Voor de ervaring van liefde tussen mensen, die elkaar niet als nuttig en

¹²⁴ Dit begrip betekende in die tijd drinkgelag en/of feestmaal.

¹²⁵ Zie *Symposion*, 198A-212C (Plato, 1966, pp. 133-147).

voorbijgaand middel voor iets anders, maar als intrinsiek waardevolle unieke mensen beminnen, heeft deze benadering totaal geen oog. Deze wiskundig-filosofische opvatting van liefde maakt het vervolgens voor de hand liggend om ook iemands ontwikkeling in de liefde, en de ondersteuning daarbij, op te vatten als een wiskundig-filosofisch leer- en opleidingstraject.

Het probleem voor mijn thema is, dat deze benadering geen oog kan hebben voor het individualiserende ontwikkelingsproces dat ik in deze studie onder vorming versta, en daarmee ook niet voor de ondersteuning die daarbij kan helpen, en dus ook niet voor de samenhang tussen deze twee. Een extreem reductionistische onderzoeker zal mijn bepalingen van de betekenissen van 'vorming' en 'ondersteuning' afwijzen, of zelfs niet kunnen begrijpen. Op de vraag naar de onderzoekbaarheid van de samenhang tussen deze twee zal hij antwoorden, dat de samenhang tussen twee termen, die notabene gedefinieerd worden door hun moeizame verhouding met generalisering, niet onderzoekbaar is, en pas onderzoekbaar wordt wanneer deze termen anders en beter gedefinieerd worden.

3.d Aard van de samenhang tussen vorming en ondersteuning

Hoe kunnen dan de essentiële kenmerken van 'ondersteuning' en 'vorming' getypeerd worden, die een eenzijdig-wiskundige belangstelling over het hoofd ziet?

Het lijkt mij goed om nu een eerste antwoord¹²⁶ op deze vraag te geven. Aan hoofdstuk 8, § 2 (pagina 221 e.v.), ontleen ik de aanknopingspunten voor dit antwoord.

Het vertrouwen van de leerkracht in het actorschap van leerlingen zoals Nessa is een passend voorbeeld van het contrafactische verwachten, dat op pagina 221 werd beschreven. Immers, ook voor dat vertrouwen geldt dat het bij voorbaat gegeven wordt, en dat het volgehouden wordt totdat bij herhaling het tegendeel blijkt. En, men kan evenzeer vermoeden dat het geven van dit vertrouwen, als een element van de ondersteuning, werkzaam is op de wijze van een 'self-fulfilling prophecy'.

En, wanneer men deze benadering opvat als kennisbenadering, dan klopt het ook dat ondersteuners van vorming uitgaan van algemene aannames, die bij de Boer 'postulaten' heten (voetnoot 116, p. 221) en bij Smedslund 'axioma's' (pagina 224). De aanname van een ondersteuner, dat leerlingen zich als unieke en originele vormgevers kunnen manifesteren, behoort inhoudelijk tot de categorie van aannames die deze twee auteurs beschrijven. Het is ook een gemeenschappelijk kenmerk, dat de interesse van een ondersteuner in de unieke en individuele manifestaties van actorschap bij leerlingen geheel overeenkomt met de werkhouding van de practicus, zoals Smedslund die beschrijft (pagina 225). Een ondersteuner van vorming is ook zo'n practicus die in ontmoet-

¹²⁶ Later in deze studie (in deel III, hoofdstuk 17, § 3) zal ik dieper ingaan op deze kenmerken en op de vraag naar hun onderzoekbaarheid. Op deze plaats geef ik slechts een eerste verkenning.

ting vooral de individualiteit en uniciteit van leerlingen wil leren kennen, en die zich er daarom voor inspannt om in eerste instantie stereotypen, vooroordelen en theorieën 'opzij te zetten' ten behoeve van die ontmoeting. De generieke categorieën waar een practicus van uitgaat (intentionaliteit, geheugen, sensitiviteit, et cetera) vertegenwoordigen ook niet het *doel* van zijn kennisontwikkeling, maar zijn slechts nuttig als *middelen* die helpen om unieke en individuele manifestaties van actorschap te herkennen en te benoemen. De uiteindelijke waarde waar het een practicus bij deze kennisontwikkeling om gaat, is het leren kennen van het unieke actorschap van de ander, niet alleen om dit actorschap te bewonderen, maar ook om het effectief te kunnen ondersteunen.

De kennisbenadering van deze practicus wordt dus gekenmerkt door een intentionele *betrokkenheid*, ofwel *kennisinteresse*, die inhoudt dat kennis van unieke kenmerken de hoofdzaak is, en dat generieke kenmerken of concepten slechts van belang zijn voor zover zij nuttig zijn om de hoofdzaak te dienen. De ondersteuning van vorming, zoals die in deze studie wordt opgevat, impliceert een kennisinteresse die precies tegenovergesteld is aan de kennisinteresse van wiskunde. De kennisinteresse van wiskunde houdt immers in dat aan kennis van formele systemen en generieke gevolgtrekkingen de hoogste waarde wordt toegekend, en dat kennis van unieke objecten of kenmerken slechts van belang is wanneer deze nuttig kan zijn voor kennisontwikkeling op het generieke niveau¹²⁷. Deze constatering roept een aanvullende vraag op, waar ik op in moet gaan om de derde familiale kwestie adequaat te kunnen beantwoorden.

Kan het een probleem opleveren, dat wiskundig-generaliserend onderzoek naar de samenhang tussen vorming en ondersteuning een kennisinteresse impliceert, die tegengesteld is aan de kennisinteresse die inherent is aan de ondersteuning van vorming?

3.e Wiskundige benadering als algemene norm voor kennisontwikkeling

Om de bovenstaande vraag te beantwoorden zal ik nu eerst nagaan wat het resultaat kan zijn van een reductionisme dat iets minder extreem is dan het reductionisme van de platonische liefde. In deze tijd, en in de kringen van opvoeding en onderwijs zal men ook een dergelijk extreem reductionisme nauwelijks meer tegenkomen. Daar is men er in het algemeen wel van doordrongen dat het ontwikkelen van een individuele identiteit voor kinderen, en voor mensen in het algemeen, van waarde is.

Maar, de Griekse traditie werkt nog wel door in de veel voorkomende opvatting dat kennis van generieke samenhangen per definitie het hoogste doel is van wetenschap, en van kennisvorming in het algemeen. Deze opvatting is nog zó sterk aanwezig, dat het niet algemeen vanzelfsprekend is dat kennisvorming vanuit een tegenovergestelde interesse evenveel, of soms zelfs meer, waarde kan hebben dan wiskundig-generaliserende

¹²⁷ Deze intentionele betrokkenheid beschreef ik eerder in dit hoofdstuk op de pagina's 115, 138, 184 en 187.

kennisvorming¹²⁸. Het is daarom zeer wel mogelijk dat een onderzoeker, die met behulp van een wiskundige bril de samenhang tussen vorming en ondersteuning wil onderzoeken, niet bereid of in staat is om de tegengestelde benadering van de ondersteuner als gelijkwaardig te zien.

Om te ontdekken of dit problemen kan opleveren kom ik nu weer terug op het voorbeeld van het onderzoek dat een statistisch significante correlatie tussen 'belangstelling' en 'vorming' opleverde (pagina 238 e.v.). Wanneer de resultaten van dergelijk onderzoek worden teruggekoppeld naar de praktijk, dan is voor de ondersteuners één vraag beantwoord, maar blijven er nog een aantal belangrijke vragen over. De vraag die beantwoord is, is de vraag of er inderdaad een verband bestaat tussen de mate van belangstelling die een leraar toont voor creatieve variaties door leerlingen op schoolaanbod, en de mate waarin leerlingen vermogen tot eigen vormgeving ontwikkelen. Maar, de reactie van leraren met enige ervaring op dit gebied zal neerkomen op: "*dat er een samenhang is tussen belangstelling en vorming verbaast mij helemaal niet, dat wist ik allang; ik heb het bewijs uit onderzoek niet nodig om daar van overtuigd te zijn*".

Daarnaast kunnen zij met recht stellen dat de voor hen wél lastige vragen door dit onderzoek *niet* beantwoord zijn. Vragen zoals: "*hoe weet ik nu, met welke concrete vormen van belangstelling, op welke unieke momenten, ik mijn unieke leerlingen het beste in hun vorming kan ondersteunen?*".

Wanneer onderzoekers de wiskundige benadering van kennis beschouwen als de enige benadering die kennis van goede kwaliteit kan opleveren, dan zullen zij concluderen dat de gesignaleerde tekortkomingen alleen door middel van hun onderzoeks-benadering opgelost kunnen en moeten worden. Zij zullen zelf hun onderzoek moeten verbeteren

- om te maken dat de resultaten minder triviaal zullen zijn,
- en om te maken dat de practici over een generiek net van strategieën en criteria beschikken dat zó fijnmazig is, dat zij daar hun specifieke vragen mee kunnen beantwoorden.

Zij zullen concluderen dat vervolgonderzoek nodig is, waarbij veel meer aspecten van 'ondersteuning' (dan alleen belangstelling) in het onderzoek worden betrokken, en waarbij ook in 'vorming' veel meer deelaspecten worden onderscheiden, en waarin ook veel andere mogelijk invloedrijke factoren meegenomen worden.

Om mij voor te stellen hoe dit er uit zou kunnen zien, en de vraag te beantwoorden of daar problemen uit voortkomen, zal ik nu in gedachten enigszins concretiseren welke

¹²⁸ In deze studie zal ik in deel IV, hoofdstuk 17, § 3, uitvoeriger op deze kwestie ingaan, en de argumenten aanvoeren op grond waarvan betoogd kan worden dat ook systematische kennisvorming, die (mede) gericht is op kennis van unieke kenmerken en samenhangen, tot de onderzoeks-familie gerekend kan worden.

verbeteringen ik als onderzoeker bij een dergelijk vervolgonderzoek zou moeten overwegen¹²⁹:

- Het onderscheiden van meer soorten van vorming en vormgeverschap dan alleen creatieve variaties op schoolaanbod. Leerlingen kunnen bijvoorbeeld ook creatief reageren op het 'verborgen curriculum' van de school, of op ervaringen en informatie die zij buiten de school opdoen. Daarnaast kan ook het stellen van nieuwsgierige of kritische vragen een uiting van vorming zijn. Et cetera. Deze te onderscheiden soorten van vorming en vormgeverschap moeten vervolgens via indicatoren geoperationaliseerd worden zodat daaruit meetbare variabelen geconstrueerd kunnen worden.
- Het verdisconteren van meer variabelen dan alleen 'belangstelling', om te onderzoeken welke van deze variabelen de meeste invloed heeft op de 'vorming' van leerlingen, en hoe de onderlinge relaties volgens een conceptueel model zouden kunnen samenhangen (met intermediaire variabelen, en dergelijke).
- Het uitsplitsen van leerlingen in categorieën, zodat bijvoorbeeld ook onderzocht kan worden welke ondersteunings-variabelen het meest samenhangen met vorming, afhankelijk van leerling-variabelen zoals sekse, leeftijd, intelligentie, et cetera.
- Het verdisconteren van omgevingsvariabelen die van invloed kunnen zijn, zoals schoolgrootte, schoolorganisatie, onderwijssoort, onderwijsorganisatie, demografische en sociologische kenmerken van de omgeving van de school, et cetera.
- Ik zou naast het leerling-perspectief ook de perspectieven van leraren, schoolleiders en ouders in mijn onderzoek kunnen betrekken en voor elk van die perspectieven aangepaste meetinstrumenten kunnen ontwikkelen.
- In eerste fasen van het onderzoek zou ik de eerste versies van mijn meetinstrumenten met behulp van representatieve steekproeven kunnen toetsen en verbeteren:
 - + met behulp van Cronbachs alfa kan ik toetsen of ik via een serie items op consistente wijze een variabele meet, en op grond van de uitkomsten kan ik de items zodanig aanscherpen of herschikken dat zij een consistente 'schaal' vormen;
 - + met behulp van factoranalyse kan ik toetsen of mijn variabelen-systeem ingewikkelder is dan nodig, en bepalen hoe ik tot een eenvoudiger systeem kan komen van invloedrijke variabelen.

Met behulp van dergelijke maatregelen zou ik mijn meetinstrumenten en mijn onderzoek kunnen verfijnen, en zou ik ook de kans vergroten dat ik tot uitkomsten zou komen die niet langer een triviaal karakter hebben.

¹²⁹ Bij deze denkexercitie neem ik in feite mijn eigen onderzoeksthema als voorbeeld. Immers, wanneer ik mijn eigen onderzoek volgens deze reductionistische wijze zou willen aanpakken, dan zou ik om te beginnen de ondersteuning van leerlingen door leraren op deze wijze moeten benaderen. Daarna zou ik dan de ondersteuning van leraren door schoolleiders op dezelfde wijze onderzoekbaar moeten maken, en tenslotte nog de ondersteuning van schoolleiders door opleiders.

Is er dan nog een probleem? Het probleem dat er dan nog is, kan opnieuw zichtbaar worden in de toepassing. Wanneer dergelijk onderzoek niet-triviale indicaties oplevert over algemene kenmerken, die al dan niet bijdragen aan effectieve ondersteuning van de beoogde vorming, dan kan de kennis van deze kenmerken sommige belanghebbende partijen verleiden tot eveneens generieke toepassingen. Wanneer de onderwijsinspectie bijvoorbeeld bij een nieuwe wending in het beleid vorming van groot belang gaat achten, dan kan zij deze kennis omzetten in beoordelingscriteria die bij inspecties gebruikt worden om onderwijskwaliteit te bepalen. Ook schoolleidingen of schoolbesturen kunnen besluiten om deze kennis te gebruiken voor systemen van interne kwaliteitszorg en kwaliteitsborging. En wellicht kunnen zij mijn onderzoeksresultaten ook gebruiken om het promotie- en salarisbeleid daarop te baseren. Dit alles vanuit de behoefte om kwaliteitszorg, schoolbeleid en schoolontwikkeling te baseren op 'bewezen kennis'.

De spanning met de kennisinteresse van de ondersteunende practici, en met hun professionele 'werkhouding' (pagina 225) kan direct duidelijk worden in de weerzin en in de weerstand die bij hen opkomt wanneer zij geconfronteerd worden met de onderzoeks-, kwaliteitszorg-, en toetsinstrumenten, of met de beoordelingscriteria, die voortkomen uit bovenstaande benadering. Zij herkennen vaak op het eerste zicht de generieke kenmerken waar dergelijke instrumenten en criteria op gebaseerd zijn, en ervaren die generalisering als stereotypen en vooroordelen. Bij hen komen al snel voorbeelden op van belangrijke kenmerken van hun ondersteuning, of van manifestaties van vorming bij leerlingen, die niet in het denkraam van een instrument of van criteria passen. Het problematische is vooral, dat de in deze instrumenten of criteria tot stereotypen en vooroordelen gestolde generalisering precies behoren tot de categorieën die deze practici, bij hun inspanningen om leerlingen en hun vorming werkelijk te leren kennen, in eerste instantie opzij willen zetten, en in tweede instantie willen kunnen afkeuren, goedkeuren of aanpassen op basis van nuttigheid voor een unieke casus¹³⁰.

Wanneer in een school deze wiskundig-generaliserende benadering domineert, zullen zelfbewuste leraren, die op vorming georiënteerd zijn, daarmee in conflict komen. Vanuit hun op praktijk gebaseerde kennis beseffen zij het essentiële belang, voor effectieve ondersteuning van vorming, van inzicht in de relationele samenhangen tussen unieke kenmerken van henzelf en van zich vormende leerlingen. Zij zullen daarom niet accepteren dat deze kenmerken, voor zover zij niet in gevestigde categorieën passen, gedegradeerd worden tot een vorm van 'ruis' die verwaarloosd of weggefilterd moet worden, of erger nog, tot 'afwijkingen' die gecorrigeerd moeten worden tenzij zij binnen een aanvaardbare 'foutenmarge' liggen. Hun primaire zorg en belangstelling gaat immers niet

¹³⁰ Ter vergelijking kan men denken aan de discussies rond het functioneren van de DSM-5 in de geestelijke gezondheidszorg (van Os, 2014). De zorgverleners, die stellen dat zij aan de categorieën van dit instrument slechts een bijrol geven, en die het belang van persoonlijke diagnostiek benadrukken, geven een helder voorbeeld van deze werkhouding.

uit naar mooie verklarende modellen die uit generieke concepten gebouwd kunnen worden, maar naar mooie manifestaties van uniek vormgeverschap door leerlingen, die hun unieke persoonlijke ondersteuning meer dan waard zijn. Een conflict is onvermijdelijk omdat deze pedagogische leiders niet zullen accepteren dat essentiële vormen van waarnemen en kennis weggeredeneerd en weggeorganiseerd worden vanuit een reductionistische benadering. Een benadering die met recht 'reductionistisch' heet wanneer geclaimd wordt dat zij de enige is die tot kwaliteit van kennis en toepassingen kan leiden. Het is navrant dat, in onderwijsinstellingen waar dit reductionisme de toon aangeeft, juist het systeem van kwaliteitszorg één van de meest prominente exponenten van reductionisme kan zijn. Voor de zelfbewuste leraren kan het kwaliteitszorgsysteem dan bij uitstek de vijandschap belichamen tegenover de kwaliteit die hen ter harte gaat. Het conflict kan zich verharderen tot een onverzoenlijk conflict, met alle consequenties daarvan.

In dergelijke scholen kunnen leraren die, als ondersteuners van vorming, minder sterk in hun schoenen staan geïmponeerd en ontmoedigd raken. De geavanceerde meet- en toetsinstrumenten, de imponerende rechtvaardigingen vanuit achterliggend onderzoek, en de vormen van pressie die 'van bovenaf' worden uitgeoefend, kunnen met elkaar de boodschap overbrengen dat zelf nadenken door eenvoudige leraren nu niet meer nodig en gewenst is ("het wiel is immers al uitgevonden"), en dat het beter is om de richtlijnen die uit geavanceerd wetenschappelijk onderzoek volgen nu eindelijk eens volgzaam toe te passen. Zo kunnen leraren ertoe gebracht worden om hun eigen sensitiviteit en denkkracht op te geven en zich te conformeren aan uniforme richtlijnen. Stel dat mijn denkbeeldige onderzoek van de vorige pagina succes zou hebben, en binnen scholen toegepast zou gaan worden, dan zou dit als gevolg kunnen hebben dat leraren plichtmatig en 'zonder aanzien des persoons' leerlingen gaan ondersteunen met vormen van belangstelling, en met gesprekstechnieken, waarvan de effectiviteit door mijn onderzoek 'bewezen' zou zijn.

Het bovenstaande maakt duidelijk dat ik met dergelijk onderzoek precies het tegenovergestelde zou kunnen bereiken van wat ook mij als practicus ter harte gaat. Het onderzoek en zijn toepassingen zouden, uit miskenning en minachting, de kennisinteresse die eigen is aan de praktische ondersteuning van vorming kunnen marginaliseren of verstikken. In dit verband luidt het antwoord op de derde familiekwestie: *De samenhang tussen ondersteuning en vorming kan inderdaad onderzoekbaar gemaakt worden volgens een wiskundig-generaliserende benadering. Maar, wanneer deze benadering voor de tegengestelde kennisinteresse van ondersteuners geen ruimte laat, dan zal dit onderzoek in zijn toepassing ernstige schade toebrengen aan de kwaliteit van zowel ondersteuning als vorming. Uiteindelijk kan dergelijk onderzoek zelfs leiden tot de vernietiging van haar oorspronkelijk bedoelde object van onderzoek.*

3.f Wiskundige kennisinteresse als gelijkwaardige partner

Na het voorafgaande rest nog de vraag of de problemen die ik hierboven voorzag vermeden worden wanneer wiskunde zich opstelt als gelijkwaardige partner van de tegen-gestelde kennisbenadering van de practicus¹³¹.

Voor het antwoord op deze vraag kan ik om te beginnen weer aanknopen bij de eerste versie van het wiskundig georiënteerde onderzoek, dat ik op de pagina's 239 en 244 beschreef. Het blijft natuurlijk wel waar, dat het resultaat van dit onderzoek nogal triviaal was, en dat essentiële vragen van leraren onbeantwoord bleven. Maar, wanneer wiskundig georiënteerde onderzoekers niet alle heil van hun eigen benadering verwachten, dan kan de ontstane situatie ook anders beoordeeld worden. Men kan om te beginnen in aanmerking nemen dat de onderzoeksmatige bevestiging van een samenhang die voor goedwillende leraren triviaal is, in hun omgeving wel een positieve invloed kan hebben. Alleen al het gegeven dat de moeite genomen is om onderzoek naar deze samenhang te ondernemen, betekent al een bevestiging van het belang van vorming en ondersteuning. Daarnaast kan het bespreken van de uitkomst in een schoolteam een goede impuls geven aan gesprekken over, en reflectie op, vorming van leerlingen. Die impuls kan tenslotte bevorderen dat leraren de 'overblijvende vragen' als uitgangspunt voor eigen reflectie en onderzoek nemen, tot eigen antwoorden komen, en zodoende leren om vorming bewuster en effectiever te ondersteunen.

Op deze wijze kan men zich voorstellen dat onderzoek, dat vanuit een wiskundig-generaliserende kennisinteresse wordt ondernomen, in de praktijk wel degelijk kan bijdragen aan de kwaliteit van ondersteuning bij vorming. Het doorslaggevende verschil is de andere opstelling, waarbij het wiskundig georiënteerde onderzoek bewust ruimte laat voor een geheel andere kennisbenadering, en het niet als een tekortkoming, maar juist als kwaliteit opvat dat het niet zelf alle ruimte heeft opgevuld.

Op grond hiervan vermoed ik dat het voor de onderzoekbaarheid van de samenhang tussen 'vorming' en 'ondersteuning' essentieel is, dat er een methode wordt gehanteerd waarbij conceptuele ruimte open blijft, die ingevuld kan worden door unieke kenmerken en unieke samenhangen.

Uiteraard is het een goede zaak wanneer dit vermoeden aan de hand van een groot aantal gevallen getoetst, gecorrigeerd en verbeterd wordt. Een dergelijke toetsing valt buiten het bestek van mijn huidige onderzoek. Het lijkt mij echter wel goed om, naast het hiervoor genoemde denkbeeldige voorbeeld, op zijn minst één voorbeeld te noemen dat gebaseerd is op werkelijk uitgevoerd onderzoek.

¹³¹ De vraag, of de hier beschreven kennisinteresse van de practicus kan leiden tot onderzoek dat wetenschappelijk genoemd kan worden, zal later nog aan de orde komen (in deel IV, hoofdstuk 17, § 3).

Als voorbeeld kan ik hier het onderzoek noemen dat op het concept 'zone van naaste ontwikkeling' gebaseerd is. Wanneer men bij Vygotsky (1978, pp. 84 - 91) naleest hoe hij tot dit concept gekomen is, dan verwijst hij naar ervaringen met kinderen die, met een beetje hulp van een volwassene of een leeftijdsgenoot, taken blijken aan te kunnen waar zij zonder hulp niet toe in staat zijn. Hij brengt vervolgens die ervaringen onder één noemer met de formulering, dat deze taken tot de 'zone van naaste ontwikkeling' van het kind behoren. Alleen al op grond van die ervaringen blijkt bovendien dat de inhoud of omvang van die 'zone van naaste ontwikkeling' van kind tot kind sterk kan verschillen. En, alleen al op grond van ervaringen bepleit Vygotsky het grote belang van dit concept. Hij noemt als voorbeeld het speciaal onderwijs aan achterblijvende kinderen, die moeilijk de overgang kunnen maken van concreet naar abstract denken. Men merkte hierbij dat onderwijs, dat zich concentreerde op het aansluiten bij de actuele ontwikkeling van de kinderen, hen niet hielp om in die ontwikkeling verder te komen, maar, in tegendeel, hun beperking bevestigde en versterkte. En men merkte anderzijds, bij speciaal onderwijs dat kinderen stimuleerde om met een beetje hulp eerste stappen in de richting van abstract denken te zetten, dat ook voor deze kinderen de fase van abstract denken beslist niet onbereikbaar hoefde te zijn. Op grond van dit verschil was er alle aanleiding om de benadering van de eerste soort als een dwaling te kwalificeren.

Tot zover was het inzicht in het belang van de 'zone van naaste ontwikkeling' op praktijkervaring gebaseerd¹³². Daarna is er door Vygotsky zelf en door vele andere onderzoekers zeer veel onderzoek ondernomen met als doel om deze 'zone' meetbaar te maken, en in verband te kunnen brengen met tal van andere aspecten. Ter wille van deze onderzoeken naar generieke verbanden werd dit begrip 'zone van naaste ontwikkeling' uiteraard steeds ingeperkt en geoperationaliseerd, bijvoorbeeld door het in te perken tot probleemoplossend vermogen bij specifieke soorten van problemen. Dit alles ten behoeve van generieke theorie-ontwikkeling.

In aanvulling daarop is het interessant om te zien hoe een praktijkgerichte onderzoeker ook gebruik maakt van dit concept van 'zone van naaste ontwikkeling', maar daarbij de grenzen die de eerder genoemde onderzoekers aanbrengen negeert, en daarmee dit begrip weer open stelt voor unieke betekenissen. Ik denk daarbij aan het praktijkgerichte onderzoek van Edith Roefs (2010). Dit onderzoek gaat uit van de vraag wat de kenmerken zijn van docenten in het hoger beroepsonderwijs, die door hun studenten als 'inspirerend' worden ervaren. Het concept 'zone van naaste ontwikkeling' fungeert bij deze onderzoeker als een 'eye-opener' die haar doet zien dat uit veel verhalen van studenten blijkt dat 'inspirerende docenten' aan de ene kant oog hebben voor de fase van ontwikkeling waarin iedere individuele student zich momenteel bevindt, om daarbij aan te sluiten, maar tegelijk proberen in te schatten welke uitdagingen welke student kunnen stimuleren om een volgende fase te bereiken. De interviews met de docenten

¹³² Vygotsky formuleert dit als: "The error of this view (van het uitsluitend afstemmen op de actuele fase van ontwikkeling) was discovered earlier in practice than in theory" (1978, p. 89).

bevestigen Roefs in de indruk dat deze docenten in grote meerderheid, op zeer verschillende, persoonlijk en beroepsmatig gekleurde manieren, het 'aansluiten' én 'nieuw perspectief bieden' in hun onderwijs combineren (2010, pp. 197-198).

Dit praktijkgerichte onderzoek maakt naar mijn interpretatie ook duidelijk dat het concept 'zone van naaste ontwikkeling' voor ondersteuners van vorming nog steeds zeer bruikbaar kan zijn, wanneer zij het gebruiken als eye-opener, en als aanmoediging om zich de vraag te stellen "wat kan *ik* doen (of laten), om *deze* leerling, op *dit* moment, en in *deze* situatie te stimuleren om een bij hem/haar passende 'zone van naaste ontwikkeling' te ontdekken?". Zij moeten dan echter wel de ruimte nemen om de inperkingen tot specifieke soorten van probleemoplossend vermogen, of tot gangbare fasenmodellen van ontwikkeling, 'opzij te zetten' om zich open te stellen voor de unieke betekenissen die dit concept vanuit concrete ervaringen kan krijgen.

3.g Conclusies

De overwegingen en antwoorden die de derde familiekwestie heeft opgeroepen bevestigen, op het specifieke gebied van vorming en ondersteuning, dat "*praktijkgerichtheid vraagt om interdisciplinaire samenwerking*" (deel I, hoofdstuk 3, § 2.a). Voor wiskunde betekent interdisciplinaire samenwerking dat zij genoeg moet nemen met een beperkte rol, zich moet opstellen als partner in een samenspel met andere benaderingen, ruimte moet laten voor andere benaderingen, en zich samen met die andere benaderingen nuttig moet maken voor praktische kwaliteitsverbetering als hoger doel. Een dergelijke opstelling is niet te verenigen met de kennisinteresse van 'zuivere wiskunde', die kennisontwikkeling van formele structuren als doel-in-zichzelf nastreeft, en daarom onafhankelijk wil blijven van alle nuttigheidsoverwegingen (pagina 138). Maar, deze opstelling is wel te verenigen met 'toegepaste wiskunde', die er voor openstaat om haar expertise met formaliseren en formele objecten in dienst te stellen van praktische verbeteringen (pagina 136).

De overwegingen en antwoorden die de derde familiekwestie heeft opgeroepen hebben duidelijk gemaakt dat een belangrijke beperking van wiskunde verband houdt met haar eenzijdige interesse in generieke kenmerken en gevolglijkheden. Omdat inzicht in unieke kenmerken en unieke gevolgen essentieel is voor de samenhang tussen ondersteuning en vorming heeft wiskunde in dit verband de samenwerking nodig met een vorm van kennisinteresse die tegengesteld is aan haar eigen interesse.

In de derde plaats werd ook duidelijk dat een belangrijke beperking van wiskunde verband houdt met haar formele karakter. Wiskundig onderzoek kan alleen aangeven dát er sprake is van een samenhang, zonder inhoudelijk uitsluitel te kunnen geven over de vraag van welke aard die samenhang is. Ook om deze reden heeft wiskunde aanvulling nodig met de inhoudelijke interesse van ondersteuners, voor wie inzicht in de 'eigen aard' van de samenhang tussen ondersteuning en vorming van cruciaal belang is.

Samenvattend kan de derde familiekwestie nu als volgt beantwoord worden: *Ja, sommige generieke aspecten van die samenhang kunnen beschouwd worden als wiskundig onderzoekbaar. En, wanneer wiskunde zich als gelijkwaardige partner opstelt en ruimte voor andere benaderingen open laat, dan kunnen haar onderzoeksresultaten bijdragen aan inzicht, en aan de kwaliteit van de ondersteuning.*

HOOFDSTUK 10

De vierde familiekwestie: identiteitskenmerken

Met dit hoofdstuk is het moment gekomen om het laatste traject van het onderzoek van dit deel af te leggen, en mij te richten op de globale probleemstelling voor dit deel (pagina 109), die ook benoemd werd als 'vierde familiekwestie':

Welke identiteitskenmerken kunnen er aan bijdragen dat een schoolleider in zijn school goed (en beter) functioneert als pedagogisch leider, ten aanzien van het onderwijs in de wiskunde?

Deze vraag zal aan de hand van drie hulpvragen beantwoord worden:

- a. *Welke kansen op vorming heeft het schoolvak wiskunde in principe te bieden?*
- b. *Hoe kunnen schoolleiders zich voorstellen dat leraren wiskunde de vorming van leerlingen ondersteunen, en dat zijzelf de vorming van deze leraren ondersteunen?*
- c. *Kan men toetsend onderzoek inzetten ter verbetering van de ondersteuning van vorming op school, en zo ja, aan welke eisen moet zulk onderzoek voldoen?*

Om de eerste hulpvraag te beantwoorden zullen verschillende categorieën van positief inspirerende ervaringen, die beoefening van wiskunde kan opleveren, beschreven worden. In aanvulling daarop zullen aan de wetenschapsgeschiedenis, en aan de geschiedenis van wiskunde en informatica in het bijzonder, voorbeelden ontleend worden van de negatieve consequenties die reductionistische en dualistische benaderingen opleveren. Consequenties, die kunnen doorwerken tot in de praktijk van onderwijs en schoolleven. Vervolgens zal geschetst worden hoe de negatieve ervaringen die deze consequenties opleveren kunnen inspireren tot positieve vormgeving. Tenslotte zullen uit dit alles aanwijzingen ontleend worden voor wenselijke identiteitskenmerken van schoolleiders.

Om de tweede hulpvraag te beantwoorden zullen eerst de mogelijkheden van leraren wiskunde en informatica verkend worden, om 'eerstelijns ondersteuning' aan de vorming van leerlingen te bieden. Op grond daarvan zullen vervolgens de mogelijkheden van schoolleiders verkend worden om, door middel van 'tweedelijns ondersteuning', de leraren in hun vorming te ondersteunen, zodat zij zich kunnen ontwikkelen tot en als (betere) vormgevers aan hun 'eerstelijns ondersteuning'. Tenslotte zullen ook daaruit aanwijzingen ontleend worden voor wenselijke identiteitskenmerken van schoolleiders.

Voor het antwoord op de derde hulpvraag zal teruggegrepen worden op het antwoord dat al in hoofdstuk 9 (§ 3) bereikt werd, in reactie op de derde familiekwestie. Ook uit dit antwoord zullen aanwijzingen ontleend worden voor wenselijke identiteitskenmerken van schoolleiders.

Aan het einde van het hoofdstuk zal het overzicht van identiteitskenmerken tot de conclusie leiden, dat mijn onderzoek niet voorbij kan gaan aan de wenselijke bijdrage van lerarenopleidingen (exacte vakken) in de richting van pedagogisch leiderschap.

1 KANSEN OP VORMING

Welke kansen op vorming heeft het schoolvak wiskunde in principe te bieden?

Omdat vorming omschreven kan worden als "het leren van inspirerende ervaringen"¹³³ zullen de kansen op vorming, die het schoolvak wiskunde in principe te bieden heeft, verkend worden aan de hand van de positief inspirerende ervaringen, en aan de hand van de negatief inspirerende ervaringen, die de wiskundige praktijk in het algemeen kan opleveren. Leraren wiskunde kunnen erover nadenken hoe die ervaringen naar de praktijk van het onderwijs vertaald kunnen worden. Waar ik, uit eigen ervaringen¹³⁴ of uit andere bronnen, voorbeelden van dergelijke vertalingen ken, zal ik deze verkenning daarmee illustreren.

1.a Positief inspirerende ervaringen

Wiskundig inzicht

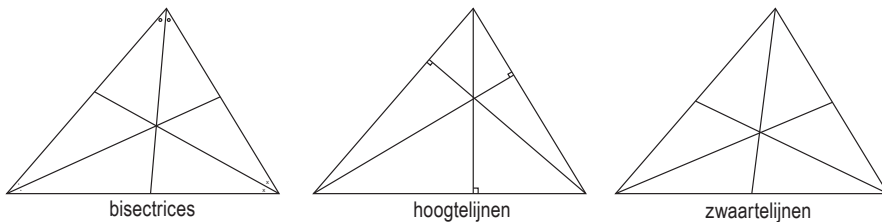
De inspirerende ervaringen van inzicht die wiskunde kan opleveren moeten hier als eerste genoemd worden. In hoofdstuk 4 (§ 1.b, pagina 114) werd beschreven, hoe wiskundigen al vanaf het begin in de oudheid veel inspiratie voor hun vak ontleenden aan ervaringen van inzicht. Het is daarom voor de kennismaking met wiskunde van belang dat deze geschiedenis van inspirerende ervaringen zich in de levens van jonge mensen kan herhalen. Om daarbij mijn eigen ervaringen als voorbeeld te nemen: ik kan mij goed herinneren dat ik op school leerde om in verschillende driehoeken hoogtelijnen, zwaartelijnen en bisectrices te construeren. Wanneer ik die constructies netjes uitvoerde, dan bleek tot mijn verrassing dat in elke driehoek zowel de drie hoogtelijnen, als de drie zwaartelijnen, en ook de drie bisectrices, precies door één snijpunt gingen. Vervolgens leerde ik hoe ik kon bewijzen dat deze drie soorten lijnen elkaar logisch noodzakelijk in één punt *moeten* snijden, op grond van de elementaire eigenschappen die driehoeken, lijnen en hoeken nu eenmaal hebben. Bewijzen, die zó sterk zijn dat verdere toetsing volstrekt overbodig is. De verwondering maakt dan plaats voor inzicht, en op grond daar-

¹³³ Zie deel I, hoofdstuk 2, § 3.a / *Samenvatting*.

¹³⁴ Omdat mijn eigen leraars- en schoolleiderservaringen vooral in het voortgezet onderwijs zijn opgedaan loop ik het risico dat mijn voorbeelden en beschrijvingen (niet alleen hier maar ook elders in deze studie) het meest aan vo-situaties doen denken. Hopelijk staat dit niet teveel in de weg dat ook collega's van andere niveaus zich laten inspireren, en eigen voorbeelden bedenken.

van is het zó duidelijk dat deze lijnen elkaar altijd in één punt *moeten* snijden, dat controleren zinloos is geworden. Het fascinerende van deze ervaringen is de sterke correspondentie tussen eigenschappen en samenhangen van formele systemen (zoals driehoeken) enerzijds, en anderzijds de conclusies die via een logisch spel van denken en redeneren bereikt kunnen worden. Ofwel: de exacte correspondentie tussen gevolglichheid die eigen is aan een formeel systeem zoals een driehoek, en de gevolglichheid van logisch redeneren. Een correspondentie, die een inspirerende ervaring van inzicht oplevert.

Figuur 18



De rij van de kwadraten van natuurlijke getallen 1, 4, 9, 16, 25, 36, ... wekte als jonge leerling de verwondering van een bevriende collega. Hoe komt het toch dat het verschil tussen de opeenvolgende kwadraten precies een opeenvolgende rij van oneven getallen 3, 5, 7, 9, ... oplevert? Met elementaire algebra kan een bewijs van dit 'wonder' geleverd worden. Een bewijs, dat leerlingen met aanleg voor wiskunde ook zelf kunnen vinden.

Dergelijke inspirerende ervaringen kunnen veel voldoening geven, en kunnen het verlangen wekken om meer van dergelijk inzicht te verwerven. Zo kunnen deze ervaringen motiveren tot vormgeving aan eigen studie en onderzoek, om van steeds meer verschijnselen te ontdekken hoe deze inzichtelijk gemaakt kunnen worden via logisch denken en redeneren. Dan blijkt dat men eindeloos op de koers van dit verlangen kan doorgaan, omdat het gebied, waarop wiskundig-logische benaderingen toepasbaar zijn, onafzienbaar groot is. Veel groter dan wat daarvan in reguliere schoolwiskunde, of in een universitaire studie, aan de orde kan komen. Zo was het voor mij, in mijn studententijd, een fascinerende ontdekking dat er zoveel spelletjes en raadsels zijn die bij eerste kennismaking ondoorzichtig lijken, maar die bij nader inzien wiskundig inzichtelijk gemaakt of opgelost kunnen worden. Puur voor het plezier verdiepte ik mij in *De speelse wiskunde* (Pedoe, 1966), genoot daarvan, en ontwikkelde eigen varianten van een spel of raadsel dat ik daarin tegenkwam.

Competentie

Dicht bij de ervaring van inzicht ligt de ervaring van beheersing of competentie. Vanaf het begin ontdekten wiskundigen, dat hun inzichten hen in staat stelden om indrukwekkende prestaties te leveren. Hun inzicht in de formele regelmatigheden, die in de bewegingen van sterren en planeten te ontdekken waren, stelden hen bijvoorbeeld in staat om precieze voorspellingen te doen van de tijd, en van de plaats aan de hemel, waar een

'dwaalster' te vinden zou zijn. Andere toepassingen die al vroeg opkwamen, en die ervaringen van competentie opleverden, lagen op het gebied van de bouwkunst. Op grond van wiskundige inzichten pasten bouwmeesters perspectief-effecten toe die diepe indruk maakten, of slaagde men in het construeren van grote koepels op tempels, met een minimale ondersteuning door muren of pilaren¹³⁵.

Zodoende bleek op den duur dat ook het gebied, waarop mensen, op grond van inzicht in formele samenhangen, vormen van beheersing, macht, of competentie konden ontwikkelen, onafzienbaar groot was. Dit leidde tot de afsplitsing van tal van wetenschappen en technologische disciplines die zich, elk op een deelgebied, op wiskundige modelvorming baseren. In levendige interactie met al deze 'kinderen' is de 'zuivere wiskunde' zich gaan richten op hogere niveaus van abstractie en formalisering, en draagt zodoende nog steeds bij aan het ontdekken van nieuwe gebieden die formalisering en daarop gebaseerde beheersing toelaten.

Ervaringen van beheersing of competentie inspireren bij uitstek tot vormgeving. Om weer bij mijzelf te beginnen: toen ik via *De speelse wiskunde* leerde dat er spelletjes zijn die ik met behulp van enig hoofdrekken altijd kon winnen, wilde ik dat 'winnen' natuurlijk ook graag in de praktijk ervaren en greep ik allerlei gelegenheden aan om wedstrijden te organiseren waarin ik kon gloriëren. Als leraar wiskunde gebruikte ik dergelijke ervaringen ook om leerlingen te motiveren. Wanneer leerlingen doorkrijgen dat zij met behulp van enige wiskunde in staat zijn om op hun niveau aansprekende raadsels op te lossen of spelletjes te winnen, dan is dat ook voor hen inspirerend. De prestaties die zij bereiken hoeven helemaal niet nuttig te zijn; alleen de ervaring van competentie is al voldoende.

Na eeuwen van hierop gebaseerde ontwikkeling is onze cultuur tot in bijna al haar vezels doortrokken van een onafzienbare hoeveelheid resultaten en producten die zonder wiskundig inzicht in formele samenhangen nooit ontwikkeld zouden zijn. De inspiratie om vorm te geven aan allerlei zaken, omdat we het gewoon kunnen, en graag willen ervaren wat wij allemaal kunnen, die inspiratie is onuitputtelijk en nog steeds een belangrijke drijvende kracht achter culturele ontwikkeling.

Creatieve geschoolde intuïtie

Voor wiskundigen is in het algemeen de ervaring van de wonderlijke werking van hun geschoolde intuïtie een bron van diepe voldoening en inspiratie. Het blijft fascinerend en inspirerend om na een voorbereidende fase met een allegaartje aan logische en onlogische probeersels, na een onbewuste sluimerperiode, en soms na lang wachten en de wanhoop nabij, ineens een Aha!-ervaring te beleven, en vervolgens een Eureka!-ervaring te genieten (pagina's 209 en 236). Deze ervaringen gaan samen met een ander gevoel van competentie dan de hiervoor beschreven ervaringen van inzicht. Het gaat hier immers om de ervaring dat men is staat is om zelf iets te ontdekken of te creëren, dat

¹³⁵ Of zelfs met een gat in het midden, zoals in het Pantheon in Rome.

niet langs gebaande wegen bereikt kan worden. De keerzijde is, dat men deze ervaringen niet helemaal in de hand heeft. Men kan zich zo goed mogelijk voorbereiden, maar men moet vervolgens afwachten of, wanneer, en hoe, een inzicht kan doorbreken. Deze ervaringen kunnen daarom gevoelens van bewondering en dankbaarheid oproepen, en van verbondenheid met 'iets groots': "*the mystery of the heavens*"¹³⁶. Deze ervaringen zijn voor de meeste wiskundigen zo kostbaar dat zij zich hartgrondig verzetten tegen het idee dat hun vak gereduceerd zou kunnen worden tot gestandaardiseerde bezigheden waar letterlijk 'geen kunst meer aan is', of dat computers al hun werk zouden kunnen overnemen.

Een ander aspect van wiskundige creativiteit is tot volle ontplooiing gekomen sinds men in de 19^e eeuw de waarheidsvraag heeft losgelaten. Sindsdien hoeven wiskundigen zich bij het ontwikkelen en onderzoeken van formele structuren of denkmogelijkheden niet meer te laten beperken door de vraag of hun fantasie-producten ook werkelijk kunnen bestaan. Deze bevrijding opende de onafzienbare ruimte om bij iedere formele structuur of redeneervorm, die eenmaal duidelijk geworden is, geheel 'out of the box' alle mogelijkheden te exploreren waarop het 'formeel gezien' ook anders zou kunnen zijn. En om vervolgens te ontdekken dat sommige van die alternatieve denkvormen op onvoorziene wijze toch toepasbaar blijken (pagina 124 e.v.).

Wiskundige creativiteit is natuurlijk verwant aan de andere vormen van creativiteit, die kenmerkend zijn voor mensen als vormgevers aan cultuur. Maar, wiskundige creativiteit heeft, door haar samengaan met 'strengere' logica, ook een eigen karakter. Daarom kunnen ervaringen daarmee, begrip daarvoor, en gesprekken daarover een bijzondere bijdrage geven aan de kansen op vorming die wiskunde-onderwijs te bieden heeft¹³⁷.

Het collectieve bouwwerk

De slimme creativiteit, die wiskundigen nu al vele eeuwen in hun vak hebben geïnvesteerd, heeft geleid tot een groots en indrukwekkend bouwwerk. Eén van de boeiende aspecten van dit bouwwerk is, dat heel veel oude bouwstenen er nog steeds deel van uitmaken. De vele namen die met deze bouwstenen verbonden zijn, herinneren aan de generaties die hun aandeel hebben geleverd. Wiskunde is bij uitstek een discipline waarin voortgebouwd wordt op het werk van anderen. In één woord: wiskundige resultaten zijn *accumuleerbaar*. Voor wiskundigen, die een bijdrage leveren aan dit bouwwerk, is het inspirerend om 'een steentje' bij te dragen aan dit grootse geheel, en een plaats in te nemen in de lange geschiedenis daarvan. Bij een ontmoeting met een geëmeriteerde hoogleraar wiskunde vergeleek deze het bouwwerk van de wiskunde met een eerbiedwaardige kathedraal, waaraan generaties van bouwlieden hun aandeel hebben geleverd. Hij was vervuld met diepe dankbaarheid voor het geluk dat hem ten deel

¹³⁶ Zie de dichterlijke tekst van Sir Michael Atiyah, die geciteerd werd op pagina 212.

¹³⁷ Zie ook de suggesties voor wiskunde onderwijs die in § 8 van hoofdstuk 7 geformuleerd werden op pagina 210.

gevallen was, om actief te kunnen deelnemen aan het nog altijd voortgaande bouwen aan die schitterende kathedraal¹³⁸.

Een dergelijk geluk is natuurlijk slechts weggelegd voor een minderheid. Toch kan ook de meerderheid, waarvan resultaten en namen niet in leerboeken terecht komen, geïnspireerd worden door de creativiteit van de bouwers. Bijvoorbeeld door de voldoening die zij smaken wanneer zij, met gebruikmaking van dit gemeenschapsgoed, ook zelf wiskundige puzzels en opgaven kunnen oplossen.

Zo kunnen ook jonge mensen wiskunde leren kennen als één van de culturele ondernemingen waarin mensen hun vormgevende creativiteit niet individualistisch investeren, maar in aansluiting op voorgangers en tijdgenoten, om zodoende een bijdrage te geven aan een collectieve culturele praktijk. Wiskunde biedt een voorbeeld van collectieve culturele vormgeving, die ook op veel andere gebieden van belang is. Ook daarom kan een kennismaking met wiskunde een belangrijke rol spelen in de inleiding in cultuur die tot de taak van onderwijs behoort.

Gebruik van kennis en intelligentie van anderen

De kunst en de kunde van het formaliseren heeft in onze cultuur ook de aanzet gegeven tot de ontwikkeling van informatietechnologie, die op steeds meer levensgebieden een belangrijke rol is gaan spelen. Deze technologie maakt het mogelijk om heel veel intelligentie, via slimme software en via digitaal opgeslagen kennis, te bundelen en makkelijk beschikbaar te maken. Voor een gebruiker is dat inspirerend, omdat de mogelijkheden om aan iets vorm te geven, dankzij deze technologie, in sterke mate zijn uitgebreid en verbeterd. Een ontwerper van een kunstwerk of machine-onderdeel kan bijvoorbeeld zijn ontwerp eerst virtueel op de computer ontwerpen, en daarna met een 3D-printer prototypen vervaardigen. Een dergelijke werkwijze is mogelijk omdat ervaring, kennis en slimheid van velen eerst geformaliseerd en gesyntactiseerd is, en daarna in apparaten is ingebouwd. Het is niet overdreven om de revolutie die de nieuwe ICT-technologieën in onze cultuur veroorzaken te vergelijken met de uitvinding van het schrift, en de latere intensivering van de mogelijkheden daarvan via de boekdrukkunst¹³⁹. Ook deze eerdere revolutie maakte het mogelijk om op grote schaal kennis en intelligentie van velen op te slaan en voor anderen toegankelijk te maken. Zo inspirerend als het vroeger was om via boeken en ander drukwerk gebruik te maken van een in eeuwen opgebouwd arsenaal aan kennis, ervaringen en ideeën van anderen; zo inspirerend is het tegenwoordig om via communicatietechnologie met zoveel anderen in de hele wereld in contact te staan, en om via computers, andere 'slimme apparaten', databanken en netwerken zoveel kennis en intelligentie van anderen te kunnen vinden en gebruiken.

¹³⁸ Met dank aan Arie Hordijk voor de inspirerende gesprekken.

¹³⁹ Zoals bijvoorbeeld Hans Achterhuis (1985) duidelijk maakte.

Samenwerking van AI en HI

Een boeiend aspect van de nieuwe ontwikkeling is, dat jonge mensen in veel gevallen meer openstaan voor de inspiratie die hiervan uitgaat, en zich sneller de nieuwe vormgevingsmogelijkheden toe-eigenen dan de oudere generatie. De oudere generatie heeft soms meer oog voor bezwaren, beperkingen of gevaren van nieuwe ontwikkelingen, dan voor de creatieve mogelijkheden. Toch is het heel belangrijk dat de oudere generatie zich niet beperkt tot waarschuwen en afremmen, maar zelf ook werk maakt van zijn vorming op dit nieuwe gebied, en eigen voorbeelden laat zien van zinvol gebruik¹⁴⁰. Eén van de belangrijke elementen die een persoon uit de in dit deel beschreven ontwikkeling van kunstmatige intelligentie opgedaan kan hebben (hoofdstuk 6, § 3.a; hoofdstuk 7, § 6), is bijvoorbeeld het inzicht in het verschillende karakter van AI enerzijds, en 'menselijke' of 'natuurlijke' intelligentie (HI) anderzijds. Op grond van dat inzicht kan in principe ook binnen het wiskunde-onderwijs vorm gegeven worden aan krachtige en inspirerende voorbeelden van onderlinge aanvulling en taakverdeling tussen AI en HI.

Samenhangen ontdekken; vooroordelen ontmaskeren

Een ander inspirerend element van onze cultuur is de mogelijkheid om, via kwantitatieve (statistische) onderzoeksmethoden, verrassende samenhangen aan het licht te brengen, en om vooroordelen, illusies, of bedrog te ontmaskeren. Ook daarbij heeft de ontwikkeling van gebruiksvriendelijke software, waarin veel wiskundig vernuft is ingebouwd, een sterke impuls gegeven aan de ontwikkeling en toepassingen van kwantitatief onderzoek. Zoals al in deel I (hoofdstuk 3, § 2.a) aan de hand van een voorbeeld geïllustreerd werd, kan dergelijk onderzoek ook in onderwijssituaties een constructieve rol spelen, met name om verbanden aan het licht te brengen waar mensen zich niet bewust van kunnen of willen zijn. Daarnaast geldt dat *zelf* onderzoek opzetten en uitvoeren, en zodoende zijn inzicht verdiepen en in staat komen om verbeteringen te realiseren, veel inspirerender is dan het kennismaken van al die onderzoeken van anderen waarmee men via internet, krant of TV wordt overstelpt. Zoals het voorbeeld uit hoofdstuk 3 ook illustreerde ligt het voor de hand dat leerlingen dergelijke ervaringen vooral kunnen opdoen in projecten waarbij wiskunde met andere schoolvakken samenwerkt. Daarbij geldt ook dat het voor leerlingen essentieel is dat de wijze waarop docenten binnen een school zelf onderzoek ondernemen (en/of gebruiken) congruent is met de inspirerende aspecten van onderzoek waarmee zijzelf kennismaken.

Helpen en geholpen worden

Tenslotte noem ik hier een element, dat zich op het raakvlak bevindt van sociale vorming en wiskundige vorming, en daarom misschien niet helemaal in deze opsomming

¹⁴⁰ Zoals Plato, die in *Faidros* 274C-279E (1998, pp. 65-71), waarschuwende kanttekeningen plaatste bij overdreven verwachtingen van het lezen van geschreven teksten, maar anderzijds ook 'het goede voorbeeld gaf' door het op schrift stellen van een omvangrijk oeuvre.

thuishoort. Zoals ik hierboven schreef gaan wiskundigen – als het goed is – niet individualistisch te werk, maar dragen zij met hun werk bij aan de collectieve culturele praktijk van de wiskundige gemeenschap. Het ondersteunen van anderen om ook aan die praktijk te leren deelnemen hoort daarom natuurlijkerwijs tot de sociale taken binnen die gemeenschap. Zo gezien behoort het ook tot de inwijding in de wiskundige gemeenschap dat leerlingen leren om elkaar te ondersteunen bij het toe-eigenen van wiskundige inzichten en vaardigheden. Vanuit deze motivatie zijn er leraren wiskunde die het 'leren om elkaar te helpen' als een essentieel aspect in hun onderwijs integreren¹⁴¹. Een bijkomende motivatie vormt de ervaring dat leerlingen die anderen helpen, daarvan ook zelf profiteren in hun eigen wiskundige vorming. De inspirerende ervaring die jonge mensen hierbij opdoen berust op het samengaan van drie aspecten: merken dat de ondersteuning die je geeft ook 'werkt', genieten van de wiskundige ontwikkeling van een ander, en merken dat het helpen van een ander ook bijdraagt aan je eigen ontwikkeling.

En, uiteraard, kan ook het geholpen worden inspirerende ervaringen opleveren. Niet alleen wiskundig inspirerende ervaringen, maar ook sociaal-inspirerende ervaringen. De ervaring van een sociaal verband, waarin de één de ander helpt zonder de ander afhankelijk te maken, kan de ervaring bieden van het behoren tot een vorming-ondersteunende gemeenschap, die meer is dan een optelsom van individuen, en kan inspireren om van die gemeenschap het beste te maken.

1.b Negatieve ervaringen

In deel I werd aan voorbeelden geïllustreerd (hoofdstuk 2, § 3.a / *Kenmerken en termen*), dat ook negatieve ervaringen mensen kunnen inspireren tot vormgeving. Met 'negatief inspirerende ervaringen' bedoelde ik ervaringen die in eerste instantie met inspiratie op gespannen voet staan. Ervaringen, die creativiteit en vormgeving kunnen ontmoedigen, verstikken of verlammen. Maar, mensen blijken gelukkig in staat om dergelijke ervaringen soms zó creatief te interpreteren dat zij toch moed vatten, toch ruimte zien, en toch vormgevende actie ondernemen. Om de weg van negatieve ervaringen naar inspiratie herkenbaar te maken in de context van wiskunde onderwijs, zal ik de volgende vragen als richtlijn gebruiken:

1. *Welke negatieve ervaringen (in bovengenoemde zin) kunnen voortkomen uit de wiskundige praktijk, en waarom?*
2. *Hoe kunnen deze negatieve ervaringen zich voordoen in de schoolcontext en in de context van wiskunde onderwijs?*

¹⁴¹ Zo nam ik vroeger als leraar wiskunde deel aan experimenten met 'groepsonderwijs', en zo propageert tegenwoordig Monique Pijls in Nederland dit aspect, met haar concept van bètacoaches, zie <http://math-boost.nl>.

3. *Welke kansen op vorming biedt wiskunde onderwijs tegen de achtergrond van deze negatieve ervaringen?*

Om de eerste vraag te beantwoorden zal de 'omweg' over de geschiedenis van wiskunde en informatica nog eens verkend (en aangevuld) worden, in het perspectief van deze specifieke vraag. De eerstvolgende zes tekstgedeelten zullen daaraan gewijd zijn.

Daarna zal onder de titel "*Herhaling in het onderwijs*" (pagina 270) de tweede vraag beantwoord worden.

Tenslotte zal onder de titel "*Naar inspirerende ervaringen*" (pagina 271) de derde vraag beantwoord worden.

In de nu volgende tekstgedeelten zal de eerstgenoemde vraag centraal staan:

Welke negatieve ervaringen (in bovengenoemde zin) kunnen voortkomen uit de wiskundige praktijk, en waarom?

Idolatie verering; benauwende minachting; eeuwige saaiheid

Om na te gaan hoe wiskunde aanleiding kan geven tot negatieve ervaringen, kan ik beginnen bij de positief inspirerende ervaringen die ik hiervoor als eerste noemde. Al vanaf het begin in de oudheid gaven de ontdekkingen van de volmaakte samenhangen tussen eigenschappen van formele objecten aanleiding om aan deze objecten en hun eigenschappen een zeer hoge status toe te kennen. Het 'tijdloze' werd geïnterpreteerd als 'eeuwig', het 'generieke' als 'universeel', en het ontbreken van uitzonderingen of onregelmatigheden als 'zuiver'. Voor zeer velen, en eeuwenlang, had dit als consequentie dat aan formele objecten een goddelijk karakter toegeschreven moest worden, en dat God gezien werd als 'Grote Wiskundige'. Zodoende werd de opvatting dat men, door wiskundig te denken, deel had aan, of in contact stond met goddelijke intelligentie, voor velen (en eeuwenlang) een belangrijk aspect van wiskundige inspiratie (hoofdstuk 4, p. 118; en hoofdstuk 5, p. 185). Of, christelijk geïnterpreteerd: dat de mens 'beeld van God' is, dat is het meest duidelijk in zijn vermogen tot logisch denken.

Het benauwende van deze opvattingen en interpretaties was, en is nog steeds, verbonden met de minachting die er de keerzijde van is. De idolatie verering voor het formele ging bij de oude Grieken samen met minachting voor het materiële en lichamelijke. Het 'hogere' moest immaterieel zijn, en het 'hogere' in de mens, zijn 'ziel', moest dus ook immaterieel zijn. Het lichaam werd geminacht als de 'kerker van de ziel'. In het vorige hoofdstuk heb ik geïllustreerd, aan het voorbeeld van Plato's opvattingen over liefde (§ 3.c, pagina 241), hoe dit leidt tot de opvatting dat het in 'echte' liefde tussen mensen niet gaat om de concrete, unieke, vergankelijke, lichamelijke gedaante waarin mensen zich aan elkaar manifesteren, maar om de universele en eeuwige vormen waar concrete mensen slechts een onvolmaakte afschaduwing van zijn. De ene unieke mens is, zo gezien, geheel inwisselbaar voor een ander, die eveneens op onvolmaakte wijze iets van de eeuwige 'vormen' belichaamt.

Deze opvatting staat op gespannen voet met een andere bron van inspiratie die eveneens oude papieren heeft. Wij zijn geneigd om ons te hechten aan, of liefde te erva-

ren voor, unieke anderen waarmee wij fysiek-historisch verbonden zijn, of verbonden raken. Het ziet er zeer naar uit dat deze neiging inherent is aan onze menselijke natuur. Deze vormen van hechting en verbondenheid manifesteren zich in de relaties tussen moeders en kinderen, maar ook in verliefdheid en liefde, waarin de één voor de ander 'de enige' en 'de ware' is, en wil zijn, en ook in ervaringen van verlies of verdriet die niet werkelijk getroost kunnen worden met een platonische redenering in de trant van "er zijn er nog zoveel anderen". Bovendien zijn er nog vele andere betrekkingvormen zoals vriendschap, of de relatie leerling-leraar, of opvoeder-opvoeding, die hun inspiratie ontleen aan het tegengestelde van de platonische inspiratie. De vloed van literatuur, poëzie, en muziek, die geïnspireerd is op déze ervaring van verbondenheid, ontleent zijn inspiratie juist aan de ervaring dat de ene mens *niet* inwisselbaar is voor een ander, en van het verlangen om vanuit die inspiratie vorm te geven aan het individuele- en aan het maatschappelijke leven.

Bovendien is deze verarming van de sociale werkelijkheid niet eens het enige gevolg van het platonisch reductionisme. Wiskundige kennis heeft immers als gevolg dat aanvankelijke verwondering over een verschijnsel overgaat in het inzicht dat het nu eenmaal moet zijn zoals het is. Zo gezien heeft wiskundige kennis als doel om verwondering op te heffen en logische vanzelfsprekendheden daarvoor in de plaats te stellen. Volgens het hoogste inzicht, dat de wiskundige essenties van de werkelijkheid compleet aan het licht zou brengen, zouden er in de werkelijkheid dus geen verrassingen meer voorkomen, en zou er niets meer overblijven dat tot verwondering aanleiding geeft. Wanneer het er in laatste instantie zó uitziet, dan is het maar de vraag of het uitzicht op een eeuwig leven in het Rijk der Ideeën (of in de hemel van de Grote Wiskundige) wel zo aantrekkelijk is. Deze vorm van eeuwig leven komt immers neer op een eeuwige gevangenschap in het meest saaie bestaan dat zich denken laat.

De geschiedenis herhaalt zich

Het bovenstaande maakt op velen van ons, in onze tijd en cultuur, een achterhaalde indruk. Die indruk danken wij onder andere aan de tussenliggende geschiedenis van verzelfstandiging van wetenschap ten opzichte van godsdienst. Dankzij deze verzelfstandiging heeft wetenschap in het algemeen geen behoefte meer aan legitimering of statusverhoging via opvattingen over God of goddelijkheid. Het voordeel van het teruggaan naar het platonisch reductionisme is, dat dit, door de afstand in de tijd, zo duidelijk maakt wat de consequenties zijn. Wanneer mensen eenmaal geloven dat alle kennis die de moeite waard is herleid kan worden tot wiskundig-formele kennis, die dé essentie van dé werkelijkheid onthult, dan moet het zicht dat alle andere benaderingen op die

werkelijkheid bieden afgewezen worden als schijn, of als illusie¹⁴². Dergelijke 'gelovigen' zien uiteraard geen enkel heil in inspiratie door schijn of illusie. Daarom staat hun geloof op gespannen voet met alle inspiratie die van de wiskundige afwijkt.

De geschiedenis van de wiskunde laat echter zien dat nieuwe vormen van reductionisme opkomen, en dat de geschiedenis zich in deze zin herhaalt. Een voorbeeld daarvan is de ontwikkeling die leidde tot de overspannen verwachtingen van AI. Verwachtingen, die erop neerkwamen dat menselijke intelligentie uiteindelijk tot de principes van Turing Machines te herleiden zou zijn, op den duur ook geheel door kunstmatige intelligentie vervangen zou kunnen worden (hoofdstuk 6, § 2.a), en op nog langere duur in alle opzichten ver voorbij gestreefd zou kunnen worden door kunstmatige Superintelligentie (hoofdstuk 6, § 3.b).

Het benauwende van deze nieuwe vorm van reductionisme manifesteerde zich in de uitsluiting van alle andere opvattingen van intelligentie. Deze uitsluiting bleek binnen de wiskunde zelf al op gespannen voet te staan met de inspiratie die wiskundigen ontlenen aan hun creatieve mathematische intuïtie (hoofdstuk 7, § 8). De opvatting, dat het creatieve werk van wiskundigen op den duur net zo goed, of zelfs beter, door computers overgenomen kan worden doet afbreuk aan de inspiratie die wiskundigen aan hun creatieve intuïtie ontlenen (pagina 256). En, geheel vergelijkbaar met de saaiheid van het platonische hiernamaals, leidt ook dit reductionisme tot het uitzicht op een eeuwige saaiheid van de wiskundige discipline, die zou moeten intreden vanaf het moment dat computers al het creatieve werk overgenomen zouden hebben.

Bij het voorafgaande kan nu aangevuld worden dat de hoge ambities van 'strong AI' buiten de wiskunde leidden tot de verwachting, dat AI binnen de psychologie een '*Newtoniaanse revolutie*' zou ontketenen (Johnson-Laird, 1983, p. 6). Zoals de natuurwetenschappen in de 17^e eeuw volwassen werden door zich rigoureuus te beperken tot empirische data en mathematisch formuleerbare samenhangen, zo zou nu ook de psychologie als wetenschap volwassen worden door zich bij de verklaring van psychologische verschijnselen rigoureuus te beperken tot verklaringen in termen van Turing Machines (hoofdstuk 6, § 1.d, p. 158). Dit moderne geloof in de suprematie van een streng formaliserende mathematische benadering belichaamde op wetenschappelijk gebied een herleving van de platonische minachting voor al het unieke, onzuivere, onregelmatige, historische, dat voor andere wetenschappers inspirerende bronnen van kennis herbergt. En bovendien ging deze minachting nu expliciet gepaard met minachting voor al het semantische in taal (zonder welke literatuur en dichtkunst onmogelijk zijn), en voor alle inten-

¹⁴² De klassieke vorm van deze afwijzing is de bekende metafoor van de grot, waarbinnen gevangenen (= 'gewone mensen') niet anders kunnen dan afgaan op de bedrieglijke illusies van hun gewone waarnemingen; en waarbuiten de wiskundige filosofen, die afgaan op het zicht dat hun 'geestesoog' hen biedt, de werkelijkheid zien zoals zij is, in het zonlicht van de waarheid. Zie *Politeia*, VII 514A-520A (Plato, 2000, pp. 273-280).

tionele inhoudelijkheid en betrokkenheid van het menselijk ervaren en denken. Ook met dit laatste werden uitgestrekte terreinen van inspirerende kennisvorming gedesavou-eerd.

Wederzijds reductionisme

Een dergelijk reductionisme kan verschillende reacties oproepen. Een eerste reactie bestaat in het poneren van een tegenovergesteld reductionisme. Tegenover de stelling dat alle vormen van 'mind' of 'intelligentie' te herleiden zijn tot formeel-logische operaties, zoals die in computers gematerialiseerd worden, kan de stelling geponeerd worden dat die hele zogenaamde 'buitenwereld', waartoe ook die apparaten behoren, niet meer is dan een afhankelijk correlaat van elkaar toevallig bevestigende belevingen (hoofdstuk 8, § 1.a, p. 217). Die laatste stelling kan verdedigd worden met een beroep op Husserl, die betoogde dat de immanente sfeer van direct ervaren unieke en tijdelijke belevingen de primaire en absolute werkelijkheid is, en dat de transcendente externe werkelijkheid niet meer is dan een afhankelijk 'bijproduct' dat tot de eerste werkelijkheid te herleiden is (hoofdstuk 8, § 1.a, p. 218).

Het lijkt nu alsof ik een anachronistische voorstelling van zaken geef. Immers, Husserls stellingnamen waren geen reactie op het reductionisme van de cognitieve wetenschappers die pas veel later kwamen. In feite reageerde Husserl op positivistische wetenschapsopvattingen van zijn voorgangers. Zijn 'idealisme'¹⁴³ was een reactie op het 'materialisme' van de 19^e eeuw. Het materialisme van de aanhangers van 'strong AI'¹⁴⁴, kan weer gezien worden als een reactie op voorafgaande idealistische opvattingen in geestes- en menswetenschappen. Vanwege de onverzoenlijkheid van het ene reductionisme tegenover het andere kunnen deze stellingnamen in principe eindeloos herhaald worden, zonder dat er fundamenteel iets verandert. Daarom is mijn voorstelling van zaken minder anachronistisch dan het lijkt. Wanneer men zich niet thuis voelt bij het ene reductionisme kan men vaak terugvallen op het tegenovergestelde reductionisme dat eraan vooraf ging, en kan men daaraan een geactualiseerde vorm geven.

Een actuele vorm van reductionisme is te herkennen in één van de onderzoeksbenaderingen die in het vorige hoofdstuk in § 3 beschreven werden. Beschreven werd hoe onderzoekers, die ervan uitgaan dat alleen een wiskundige benadering kennis van goede kwaliteit kan opleveren, zullen proberen om bij een vraagstelling een fijnmazig model van meetbare variabelen op te stellen, zodat veronderstellingen over samenhangen tussen allerlei aspecten wiskundig bewezen of weerlegd kunnen worden (§ 3.e, pp. 243-

¹⁴³ Ik sluit mij hier aan bij het filosofische gebruik om met 'idealisme' de reductionistische stellingname aan te duiden, waarbij 'het geestelijke' als primair wordt gezien, en 'het materiële' als een secundaire werkelijkheid, die van 'het geestelijke' afhankelijk is. 'Materialisme' is dan de reductionistische stellingname die tegenovergesteld is aan het 'idealisme'.

¹⁴⁴ Waarin Searle meeging, met zijn stelling dat "mentale intentionele toestanden veroorzaakt worden door en gerealiseerd worden in de structuur van het brein", zie pagina 165.

248). 'Evidence based' is de gangbare benaming geworden van dergelijke benaderingen van onderzoek (en van daarop gebaseerde praktijken). Tegenover deze onderzoekers staan andere onderzoekers (die in § 3 niet voorkomen) die dergelijke kennis hoogstens van ondergeschikt belang achten. Zij beschouwen de fenomenologisch/hermeneutische onderzoekstraditie als fundamentele en belangrijker, en zij kunnen hun tegenstanders bijvoorbeeld (zoals men in Nederland wel eens hoort) smalend neerzetten als 'het evidentie-beest'.

Op deze manier houden onverzoenlijke controverses zichzelf in stand. De negatieve bejegening van de ene partij, die de inspiratie van de andere partij afdoet als misvatting, wordt eenvoudigweg beantwoord met een even negatieve bejegening door de andere partij. Deze negatieve bejegeningen worden niet creatief omgezet naar vernieuwende inspiratie. De strijd geeft op zijn best aanleiding tot vindingrijkheid in het polemiseren, maar biedt geen inspiratie tot creatieve vernieuwing van de eigen positie. Beide partijen blijven bij hun oorspronkelijke inspiraties en vormgevingen, in hun uitsluitend defensieve of offensieve reacties jegens de ander.

Complementair dualisme

Een tweede reactievorm houdt in dat de (dreiging van) bovengenoemde controversen wordt afgewend met een dualistische oplossing. De stelling dat wiskundige benaderingen essenties van de werkelijkheid onthullen wordt niet ontkend, maar daartegenover wordt gesteld dat dit alleen geldt binnen een beperkt werkelijkheidsgebied; en dat op een ander gebied de andere benadering, die zich juist concentreert op de aspecten waar de wiskunde geen oog voor heeft, de essenties aan het licht brengt. Tegenover de ene benadering wordt een complementaire benadering gesteld, en iedere benadering krijgt een eigen werkterrein toebedeeld. Zodoende kan elke benadering, ongehinderd door de ander, 'soeverein zijn in eigen kring'¹⁴⁵. De 'boedelscheiding' voorkomt dat de verschillende partijen energie verspillen aan het bestrijden van elkaar, en bevordert dat zij zich op hun eigen terrein op hun 'eigen waarheid' kunnen concentreren. Tegen deze achtergrond zijn in de geschiedenis van wetenschap en filosofie verschillende voorstellen tot 'boedelscheiding' geformuleerd. In aanvulling op het in hoofdstuk 8 reeds behandelde ontstaan van de fenomenologie, zal ik daarvan een voorbeeld geven.

De Husserl, die ik hierboven heb gepresenteerd als voorbeeld van reductionistisch idealisme, begon als een dualistische denker, als consequentie van zijn filosofie van de wiskunde (de Boer, 1966, pp. 68-83). In deze filosofie ging het hem om de rechtvaardiging van de spelregels en normen van de logica. In alle disciplines en praktijken stem-

¹⁴⁵ Deze toespeling op de uitdrukking 'sovereiniteit in eigen kring', die stamt uit de Anti-revolutionaire traditie, en die later ook in een wetenschapsfilosofische betekenis werd gebruikt in de 'Wijsbegeerte der Wetsidee', leek mij te mooi om hier ongebruikt te laten. Het is echter van belang om hierbij op te merken dat deze toespeling voorbijgaat aan subtiele nuances die dit begrip op den duur kreeg, met name in de wetenschapsfilosofie van de latere Dooyeweerd.

men mensen hun handelen immers af op regels, normen en waarden, en voor de wiskunde zijn dat met name de spelregels en normen van het logisch denken. In Husserls tijd waren er enkele auteurs, zoals Sigwart en Mill, die pogingen ondernamen om de normativiteit waar wiskunde zich op richt empirisch-psychologisch te verklaren uit de feitelijke natuur van de menselijke geest. Husserl benoemde deze werkwijze als 'psychologisme' en werd bekend en beroemd om zijn scherpzinnige kritiek daarop. Kort gezegd kwam zijn kritiek erop neer, dat het reduceren van regels en normen tot feiten leidt tot ontkenning van elke mogelijkheid tot wetenschap (de Boer, 1966, pp. 123-126, 159-160)¹⁴⁶. Op grond van dit alles was het voor Husserl duidelijk dat de wiskunde zelf haar eigen logische spelregels en normen niet kan rechtvaardigen.

Zijn volgende vraag hield in, waar men dan een dergelijke rechtvaardiging wél zou moeten zoeken. Een gangbaar antwoord was (en is nog steeds) dat dergelijke rechtvaardigingen te vinden zijn bij de levensbeschouwingen. Maar, Husserl had er grote bezwaren tegen om het beantwoorden van vragen naar normen en waarden over te laten aan 'Weltanschauungen'. Wanneer men bij vragen naar of discussies over regels, normen en waarden geen betere argumenten weet te geven dan 'dit hoort nu eenmaal zo volgens de levensbeschouwing die ik aanhang', dan is er geen discussie op basis van argumenten mogelijk, en zijn regels, normen en waarden overgeleverd aan oeverloos relativisme. Een gevaarlijk relativisme, omdat het mensen weerloos maakt tegenover verleidelijke ideologieën die volken en staten in oorlogen kunnen storten, en die het overleven van humane beschaving en cultuur kunnen bedreigen. Om aan dit relativisme te ontkomen, was het volgens Husserl dringend nodig om een wetenschappelijke benadering van deze vragen te ontwikkelen. En, omdat de causaal verklarende wetenschappen met deze vragen geen raad weten, moest er dus een nieuwe wetenschap komen (de Boer, 1966, pp. 562-568).

Om duidelijk te maken hoe de normatieve aspecten van het menselijk leven voortkomen uit kenmerken van de menselijke geest zou deze nieuwe wetenschap het karakter moeten hebben van een '*oorsprongsanalyse*' (de Boer, 1966, pp. 84-102). Een analyse die juist *niet* het karakter moest hebben van een traditioneel-verklarende analyse, maar die volgens een nieuwe methode begrijpelijk moest maken hoe deze regulatieve aspecten voortkomen uit kenmerken van de menselijke geest¹⁴⁷. Een eerste voorwaarde voor een dergelijke oorsprongsanalyse was het afzien van alle verklarende interpretaties, en het teruggaan op een zo zuiver mogelijke *beschrijving* van de fenomenen van het menselijk bewustzijn. Als alternatief voor de verklarende of *genetische* psychologie (die ongeschikt

¹⁴⁶ De kritiek van Husserl op het psychologisme lag uiteraard in de lijn van de eerdere analyses van Hume en Kant, die eveneens betoogden dat men normen niet uit feiten kan afleiden.

¹⁴⁷ Husserl veronderstelde dus, dat dit 'hoe' een bijzondere soort van 'gevolgijkheid' vertegenwoordigt. Een soort van gevolgijkheid, die fundamenteel verschilt van de causaliteit waar de verklarende wetenschappen van uitgaan, maar die eveneens toegankelijk is voor onderzoek en wetenschap.

was gebleken), werd daarom de *descriptieve* psychologie benoemd tot de tak van wetenschap die deze belangrijke taak moest vervullen. Door de jonge Husserl werden deze twee takken van wetenschap, de verklarende wetenschap en de descriptieve psychologie, opgevat als fundamenteel verschillende takken van wetenschap die *naast* elkaar bestaan (de Boer, 1966, pp. 81-83). Toegepast op het thema van dit deel II: *naast* wiskunde, als 'spel' dat volgens de regels en normen van logisch denken gespeeld wordt, is aan de descriptieve psychologie (later: fenomenologie) de taak toebedeeld om duidelijk te maken op grond waarvan deze spelregels moeten zijn zoals zij zijn.

Zoals aan het begin van dit gedeelte genoemd werd, is het voordeel van deze reactievorm, in vergelijking met het reductionisme, dat er geen energie wordt verspild aan het bestrijden van een 'tegenpartij'. Maar, naast dit voordeel heeft de dualistische oplossing met het reductionisme gemeen, dat het verschil tussen twee 'werelden' voorzien blijft van een negatief voorteken, en niet creatief geherinterpreteerd wordt tot een inspirerend verschil. De onderlinge bejegening, die inherent is aan het dualisme, heeft het karakter van onverschillige tolerantie. De twee verschillende partijen achten elkaar zó verschillend, dat zij niets van elkaar kunnen leren, en dat zij ongehinderd op hun eigen gebied hun eigen gang moeten kunnen gaan. Net als bij het reductionisme is het resultaat dat beide partijen bij hun oorspronkelijke inspiraties en vormgevingen blijven, nu dankzij hun onverschillige tolerantie ten opzicht van elkaar.

Instabiliteit van dualisme en reductionisme

De verdere ontwikkeling van Husserl illustreert dat de 'vreedzame coexistentie' van een dualisme niet houdbaar kan zijn, en weer kan overgaan in reductionisme. Husserl was er door zijn analyses steeds sterker van overtuigd geraakt dat 'bewustzijn' een gebied is dat onder de regie staat van regels, doelen, normen en waarden. Dankzij zijn 'geest' kan een mens zich richten op wat wenselijk is, wat behoort, wat mooi is, en wat goed is. Ofwel, een mens kan zich in zijn denken en handelen laten bepalen door toekomstbeelden. Dit bepaald worden van het heden door de toekomst heet van oudsher: *finaliteit* of *teleologie*. Maar, dit is een soort van gevolglichheid die tegenovergesteld gericht is, vergeleken met de logische gevolglichheid van wiskunde en de causale gevolglichheid van de natuurwetenschappen, waarbij het latere door het eerdere wordt bepaald. Wanneer men deze twee gevolglichheden niet relativeert, dan zijn zij onverzoenlijk. Een proces dat al helemaal bepaald is door in het verleden liggende oorzaken, kan niet ook nog eens bepaald worden vanuit de toekomst, en omgekeerd. De vreedzame coexistentie van natuurwetenschap en descriptieve psychologie werd voor Husserl onhoudbaar omdat er een 'overlappingsgebied' was, dat beide benaderingen tot hun territorium rekenden. Voor de gangbare natuurwetenschap was de menselijke geest gelokaliseerd in het brein, dat een deel is van de natuur waar deze wetenschap over gaat. En dus moet het functioneren van brein en geest dan onder de regie staan van causale gevolglichheid. Tegelijk claimt de descriptieve, later fenomenologische, psychologie dat de natuurwetenschap één van de normatieve praktijken is waar mensen zich mee bezig houden, en dat het

'brein' één van de objecten is dat door die wetenschap is bedacht. En, dat geestelijke 'bedenken' staat onder de regie van finaliteit. Op het gebied van de menselijke geest kwamen causaliteit en finaliteit zodoende in frontale botsing met elkaar (de Boer, 1966, pp. 568-574). Of, om het te formuleren in de termen die ik aan het eind van hoofdstuk 8 gebruikte (pagina 227): wanneer de één stelt dat de geest een product is van het brein, en de ander stelt dat het brein een schepping is van de geest, dan kan er in deze situatie maar één van de twee gelijk hebben. Zo werd dit voor Husserl een zuiver of-of-probleem, en zag hij zich gedwongen om een kant te kiezen. Zoals ik al eerder beschreef, koos hij voor de idealistische zienswijze. Een zienswijze die, vanuit de door mij gekozen optiek, eveneens reductionistisch genoemd moet worden.

Ook de geschiedenis van de overgangen tussen dualisme en reductionisme, kan zich herhalen. In de opkomst en relativering van het behaviourisme kan men een voorbeeld daarvan herkennen. Onder invloed van het positivisme ontstond er binnen de psychologie (rond 1915) een beweging die als doel had om de psychologie te funderen op objectief-feitelijke waarnemingen. Externe waarnemingen dus, die tussen onderzoekers onderling uitgewisseld en gecontroleerd kunnen worden, net als in de natuurwetenschap. Het verwijzen naar innerlijke belevingen en waarnemingen van een persoon (of ander levend wezen) werd taboe verklaard en overbodig geacht. De enige gegevens waarop psychologie zich moest baseren, waren de uiterlijk observeerbare kenmerken van het *gedrag* van een persoon (of een levend organisme) in zijn omgeving. Meer was ook niet nodig, want het functioneren van levende systemen kan en moet gereduceerd worden tot samenhangen tussen stimuli en responsen (input en output). Kortom: de psyche moest uit de psychologie verbannen worden (Graham, 2010). In reactie hierop brachten in de loop der tijd andere onderzoekers naar voren dat het gedrag van vele levende wezens, en zeker het gedrag van mensen, alleen goed begrepen kan worden wanneer men in aanmerking neemt dat zij hun ervaringen en omgeving representeren en interpreteren (Graham, 2010, pp. 18-20). Bij mensen kan men van deze interpretaties kennis nemen door ernaar te vragen, en aan onderzoekers komt dan de taak toe om deze interpretaties weer te interpreteren.

Vereenvoudigend samengevat kan men zeggen dat deze kritiek weer wind in de rug gaf van een complementaire benadering van psychologie, die zich (met een beroep op de fenomenologie) juist op innerlijke belevingen en op het interpreteren concentreerde. De kritiek op het reductionistische behaviourisme gaf weer aanleiding tot dualisme op het gebied van de psychologie, en algemener op het gebied van de menswetenschappen. Het dualisme van het 'verklaren' naast het 'verstaan'.

Opnieuw kon ook dit dualisme de opkomst van nieuwe vormen van reductionisme niet voorkomen. En opnieuw kon dit gebeuren toen de boedelscheiding niet (meer) werkte en de verschillende benaderingen op een overlappend gebied frontaal met elkaar in botsing kwamen. Het dispuut rond 'de Chinese kamer' (hoofdstuk 6, § 2) kan als een voorbeeld van zo'n botsing gezien worden. Communiceren via taal hoorde immers tot het territorium van hermeneutische wetenschappers. Maar, vanaf het moment dat

exacte wetenschappers en technologen machines gingen bouwen die volgens hen qua communicatief vermogen in principe niet van mensen verschilden, en die het perspectief openden op exacte verklaringen van cognitie en communicatie, werd dit territorium ook geclaimd door de andere partij en stonden boedelscheiding en dualisme weer volledig ter discussie.

Op grond van deze zich vruchteloos herhalende geschiedenissen zie ik geen heil in reductionistische polemieken, maar ook niet in de pacificaties van dergelijke conflicten door het afspreken van nieuwe vormen van boedelscheiding en dualisme¹⁴⁸. Met name, omdat op deze manier de confrontaties met 'andersdenkenden' op zijn best leiden tot het terugtrekken in de eigen sfeer en tot onverschillige tolerantie, en niet leiden tot inspirerend leren van elkaar en inspirerend samenwerken met elkaar.

Waarom?

De eindeloze herhaling van reductionisme en dualisme roept de vraag op waarom onderzoekers voor deze posities kiezen. Het voert voor deze studie te ver om deze vraag in zijn algemeenheid te beantwoorden. Daarom volsta ik hier met een herinnering aan de vermoedens die in hoofdstuk 7, § 9, op pagina 212 geformuleerd werden in antwoord op de vraag naar de redenen die maken dat wiskundigen en informatici kunnen bezwijken voor de verleidingen van reductionistische mythevorming:

1. Wiskunde levert van nature inspirerende inzichten op, die gepaard gaan aan gevoelens van bewondering en verhevenheid, met als keerzijde de verleiding om alles te minachten waar wiskunde in zijn reducties van afziet.
2. De wiskundige benadering heeft onafzienbare toepassingsgebieden waarop indrukwekkende resultaten te behalen zijn. Daarbij worden de beperkingen en vereenvoudigingen waarop die toepassingen gebaseerd zijn van nature graag vergeten.
3. Wiskunde is een discipline die, zoals de naam al uitdrukt, van nature op het verkrijgen van zekerheid gericht is. Daarom hebben vele wiskundigen er moeite mee om de onzekerheden onder ogen te zien, die met de beperkingen (Gödel) en met het creatieve aspect van hun discipline verbonden zijn.

Wanneer dit reductionisme te maken krijgt met heftige tegenstand of kritiek, dan kan men daaraan ontsnappen door uit te wijken naar dualistische boedelscheiding. Zoals hierboven betoogd is de houdbaarheid van een dergelijke 'pacificatie' afhankelijk van de grenshandhaving, en direct weer in gevaar bij nieuwe grensconflicten waar wetenschappelijk ontwikkelingen toe kunnen leiden.

¹⁴⁸ Met bovenstaande argumentatie zijn nu nieuwe argumenten aangedragen voor de stellingname die ik eerder al in deel I, hoofdstuk 3, § 3.a, op levensbeschouwelijke gronden verdedigde.

1.c Herhaling in het onderwijs

Hoe kunnen deze negatieve ervaringen zich voordoen in de schoolcontext en in de context van wiskunde onderwijs?

In antwoord op deze vraag kan ik, in verband met de schoolcontext, herinneren aan het fictieve voorbeeld dat ik hiervoor in § 3.e, pagina 244-248, uitwerkte. Het ging daar om wiskundig werkende onderzoekers die met een fijnmazig onderzoek de samenhang tussen ondersteuning en vorming zo volledig mogelijk in beeld willen brengen. Hoewel dit voorbeeld fictief is, berust het wel op concrete ervaringen die onderwijs-collega's waarschijnlijk zullen herkennen. De negatieve ervaringen die een dergelijke benadering kan oproepen komen erop neer:

- dat de fijnmazig gemaakte generieke categorieën vooroordelen en stereotypen representeren die in veel gevallen onrecht doen aan unieke leerlingen en leraren, en aan hun unieke geschiedenissen en andere omstandigheden;
- dat de belangstelling voor uniek vormgeverschap bij leerlingen, en unieke vormen van ondersteuning door leraren, ontmoedigd wordt, omdat alles moet passen in generieke categorieën en unieke bijzonderheden als 'ruis' weggefilterd worden;
- dat dergelijk onderzoek uitmondt in vormen van kwaliteitszorg die ernstige schade toebrengen aan de kwaliteit van zowel ondersteuning als vorming.

Wanneer men het onderwijs beschouwt in het perspectief van de hierboven geschetste geschiedenis van reductionisme en dualisme, dan zijn er in aanvulling op het vorige voorbeeld nog legio voorbeelden te noemen van verleidingen om het generaliseerbare en kwantitatief meetbare te overschatten, en van de negatieve ervaringen die dat bij vele betrokkenen oplevert. Leraren meten bijvoorbeeld voortdurend leerprestaties van leerlingen aan uniforme maatstaven en kennen daar 'cijfers' aan toe. Het partiële belang en de nuttigheid daarvan verdienen erkenning. Maar, daarnaast is het van belang om te blijven beseffen dat deze praktijk ook de verleiding met zich meebrengt om de gehele ontwikkeling van leerlingen tot cijfers te reduceren. Het bedenken van de negatieve ervaringen die dit (ook in het geval van hoge cijfers) kan opleveren kan ik met een gerust hart aan leerlingen, leraren, ouders en andere betrokkenen overlaten.

Daarnaast moeten de toetsen genoemd worden die leraren niet zelf ontwikkelen, maar die de school opgelegd of opgedrongen krijgt om de vorderingen van leerlingen te meten en toekomstig schoolsucces te kunnen voorspellen. Ook hier geldt dat het er niet om gaat om dit fenomeen helemaal af te schaffen, maar om het reduceren van de ontwikkeling van leerlingen tot percentielscores, of tot posities in grafieken. De negatieve ervaringen kunnen bijvoorbeeld blijken uit klachten van leraren over 'toets-terreur'. Het bedenken van andere negatieve effecten kan ik weer gerust aan anderen overlaten.

Terugkomend op het wiskunde-onderwijs moet ook gedacht worden aan het effect van een leraar wiskunde die het hier geproblematiseerde reductionisme in eigen persoon belichaamt. Uit eigen ervaring heb ik kunnen meemaken hoe een dergelijke leraar

leerlingen kan imponeren met een schijnbaar onaantastbare houding van superioriteit en zekerheid. Als collega's herkennen we zelfs aan karakteristieke houdingen, bewegingen, woordgebruik en andere uitingen, hoe sommige leerlingen bewust en onbewust deze imponerende leraar imiteerden en interioriseerden. De keerzijde is uiteraard dat dergelijke leraren hun leerlingen (met name de leerlingen met talent voor exact) aanmoedigen om ook sociale, emotionele en relationele problemen alleen logisch-analytisch te benaderen, inclusief alle ongelukken die dat met zich mee kan brengen.

In het voortgezet onderwijs kunnen specialistische leraren en vaksecties, die zich opsluiten in hun vakgebied, aan leerlingen de negatieve ervaring bezorgen van gefragmenteerd onderwijs in geïsoleerde vakken die hen niet helpen om zich een samenhangend beeld te vormen van werkelijkheid, cultuur en samenleving als geheel. Bij gebrek aan een dergelijk samenhangend beeld worden deze leerlingen niet ondersteund om zich als creatieve persoon in de volle breedte te ontplooien. Zij raken innerlijk verkokerd en leren zich bij gebrek aan beter kritiekloos aanpassen aan de verschillende normen en gewoonten die op ieder vak-eiland gelden.

Dat specialistische vakleraren zich van elkaar afsluiten kan voortkomen uit ervaringen die zij zelf als studenten in het hoger- of wetenschappelijk onderwijs hebben opgedaan. Niet alleen bij wiskunde-opleidingen, maar evenzeer bij andere gespecialiseerde opleidingen. In deze opleidingen specialiseren studenten zich vaak op één vak, zoals wiskunde, waarbij deze specialisatie zoveel tijd en energie kan eisen dat zij zich afsluiten van al het andere en opgesloten raken in hun specialisme. De eenzijdigheid van een gespecialiseerde opleiding kan ten koste gaan van hun mogelijkheden om zich als creatieve persoon in de volle breedte te ontplooien, en beslist ook van hun mogelijkheden om zich in de volle breedte een beeld te vormen van werkelijkheid, cultuur en maatschappij.

1.d Naar inspirerende ervaringen

Welke kansen op vorming biedt wiskunde onderwijs tegen de achtergrond van deze negatieve ervaringen?

Intuïtie als inspirerend 'tegenwicht'

In antwoord op deze vraag kan nogmaals de kans op vorming genoemd worden die wiskunde-onderwijs te bieden heeft door leerlingen kennis te laten maken met creatieve wiskundige intuïtie, en met een leraar die het plezier daarin en de waardering daarvoor als persoon belichaamt (pagina 256). De 'negatieve ervaringen' van het onvermogen van de wiskunde om deze intuïtie zelf te begrijpen, en om de intuïtieve werkfasen net zo zeker te maken als de wiskundige opbrengst, zijn de eerste ervaringen die in aanmerking komen om getransformeerd te worden in inspirerende ervaringen. Het leren waar-deren en genieten van creatieve intuïtie is binnen het wiskunde-onderwijs de beste mogelijkheid om leerlingen de beperktheid van het formeel-logische te leren zien, en

daaraan juist inspirerende ervaringen te ontleen. Zoals van Poincaré geciteerd werd: de ervaring van intuïtie kan prima dienen "als tegenwicht of tegengif" tegen wiskundig reductionisme, en ervaringen opleveren die Atiyah beschrijft als "floating between the stars" (pagina 212).

Inspirerend leren van geschiedenis

Een tweede kans kan aandacht voor de geschiedenis van wiskunde en informatica bieden. Uit deze geschiedenis, uit de negatieve effecten van hoogmoed, minachting, reductionisme en dualisme, die deze geschiedenis heeft laten zien¹⁴⁹, kunnen wijze lessen geleerd worden. Bovendien blijken de verleidingen van hoogmoed, reductionisme en dualisme nog steeds actueel te zijn, en ook door te werken in de praktijk van onderwijs en schoolleven (pagina 243-248). Het herkennen van deze verleidingen kan, ook in gesprek met leerlingen, tot inspirerende kritische reflecties leiden. Aandacht voor deze zaken geeft bovendien aan de leraar wiskunde de kans om zich te laten kennen als een inspirerend model van brede vorming.

Irreële mythen ontmaskeren, reële risico's doorzien

In het verlengde daarvan kan het voor leerlingen inspirerend zijn om op enig moment in hun schoolloopbaan het verhaal te horen van de 'ontnuchtering' die de wiskundige gemeenschap in de 20^e eeuw doormaakte dankzij het onvolledigheidsbewijs van Gödel. De consequenties van dit bewijs zijn aan eenvoudige voorbeelden duidelijk te maken (pagina 146-148), en zodoende kan een leraar aan leerlingen duidelijk maken hoe dit bewijs oude beelden van de bovenmenselijke zekerheid en volledigheid die wiskunde te bieden zou hebben als irreële mythen ontmaskerde¹⁵⁰.

Daarnaast kunnen met leerlingen gesprekken gevoerd worden over mythevorming rond de mogelijkheden van kunstmatige intelligentie. Een eerste voorbeeld daarvan bieden de discussies rond de vraag of het intuïtieve werk van wiskundigen op den duur geheel door computers kan worden overgenomen¹⁵¹. Het lijkt mij boeiend voor leerlingen om kennis te nemen van de argumenten pro en contra, en om van hun leraar te horen hoe die daar zelf over denkt. Tenslotte kan geschetst worden hoe in de huidige praktijk van wiskunde beoefening kunstmatige en menselijke intelligentie elkaar aanvullen¹⁵².

¹⁴⁹ Zoals de platonische opvatting van liefde (pagina 240-242), de eeuwige saaiheid van een wiskundig hemelrijk (pagina 261-262), of de herhalende slingerbeweging tussen 'idealisme' en 'materialisme' (pagina 264-265).

¹⁵⁰ Hierbij kan verwezen worden naar de wijze en realistische Hindu-mythe waar Russell naar verwees in reactie op deze ontwikkelingen (pagina 145).

¹⁵¹ Zie hoofdstuk 6, pagina 156-161.

¹⁵² Zie hoofdstuk 8, pagina 205-211.

Ook het 'gedachten-experiment' van de 'Chinese kamer' is aan leerlingen in het voortgezet onderwijs goed uit te leggen, en kan leiden tot inspirerende gesprekken over de beperkingen die inherent zijn aan het formaliseren, en over menselijke neigingen om in het taalgebruik aan sommige machines intentionaliteit en echte intelligentie toe te schrijven¹⁵³. Aan de actualiteit zijn bovendien, bijna gegarandeerd, voortdurend nieuwe voorbeelden te ontleen van taalgebruik dat de blijvende verschillen tussen 'kunstmatig' (intelligentie, leven, evolutie) en 'echt' gemakshalve negeert. Het wapenen van leerlingen tegen de irreële suggesties die van dit taalgebruik uitgaan, door informatie over reële mogelijkheden en beperkingen van informatietechnologie lijkt mij dringend geboden¹⁵⁴.

Met dergelijke gesprekken en met andere werkvormen kan een leraar bovendien bijdragen aan inspirerende ontmaskering van irreële doemscenario's, zoals het scenario van 'superintelligentie'¹⁵⁵. Daarnaast is het van belang dat leerlingen de reële risico's wel leren doorzien, en er over nadenken hoe daarmee omgegaan kan worden. Het leren omgaan met deze negatieve ervaringen en risico's is bovendien een gemeenschappelijke opgave voor leerlingen en leraren. Opnieuw kan gesteld worden dat een leraar die zelf werk maakt van deze opgave, daarmee ook als persoon een inspirerend model van vorming kan zijn.

Fragmentatie en verkokering opheffen

Tenslotte noem ik de kansen die scholen en opleidingen kunnen bieden om ervaringen van 'innerlijke verkokering', of van opgeslotenheid in het keurslijf van een specialisme, om te zetten in inspirerende ervaringen.

Om in dit verband te beginnen bij het hoger- en wetenschappelijk onderwijs: er zijn tekenen dat studenten in toenemende mate hun behoefte aan een bredere 'Bildung' uiten¹⁵⁶, en er zijn ook voorbeelden van universiteiten en hbo-instellingen die daar gehoor aan geven¹⁵⁷. Deze voorbeelden kunnen beschouwd worden als initiatieven om de bovengenoemde negatieve ervaringen om te zetten in positieve ontwikkelingen.

Voor de studenten verbetert een bredere 'Bildung' bovendien hun mogelijkheden om in hun verdere leven zelf vorm te geven aan hun loopbaan. Wanneer zij niet in één specialisme opgesloten zijn kunnen zij beter inspelen op veranderingen in hun omgeving of bij zichzelf, omdat zij voor hun loopbaan over meer keuzemogelijkheden beschikken.

¹⁵³ Zie hoofdstuk 6, pagina 161-171.

¹⁵⁴ Zoals beschreven in hoofdstuk 6 (pagina 171-176), en in hoofdstuk 7 (pagina 194-195).

¹⁵⁵ Zie hoofdstuk 7 (pagina 195-204).

¹⁵⁶ Een recent voorbeeld is de oprichting van 'De Bildung Academie' door studenten van UvA en UU, die zij via crowdfunding willen financieren. Zie <http://debildungacademie.nl>.

¹⁵⁷ De 'University Colleges' kunnen ook gezien worden als een stap in deze richting.

In het voortgezet onderwijs kunnen scholen, waarin leraren in multidisciplinaire teams samenwerken¹⁵⁸, ook aan het wiskunde onderwijs de kans bieden om de noodzakelijke concentratie op een vak niet te laten uitmonden in de negatieve ervaringen van fragmentatie of verkokering. Dergelijke scholen bieden een context waarin het organiseren van vakoverstijgende projecten voor de hand ligt, en leerlingen op hun niveau al ervaringen kunnen opdoen van inspirerende samenwerking tussen verschillende disciplines.

In het primair onderwijs is het vermijden van fragmentatie en verkokering, tussen de verschillende vakken waarmee kinderen kennismaken, nog beter mogelijk dan in het voortgezet onderwijs, omdat leraren in één persoon het onderwijs in verschillende vakken verenigen. Voorwaarde is dan wel dat deze leraren, dankzij hun opleiding en het werken aan eigen vorming, aan het risico van 'innerlijke verkokering' zijn ontsnapt.

1.e Identiteitskenmerken van schoolleiders

Nu hiermee een aantal antwoorden verkregen zijn op de hulpvraag naar de kansen op vorming, die het schoolvak wiskunde in principe te bieden heeft, is het moment gekomen om deze opbrengst te interpreteren in het licht van de vierde familiekwestie, die nu geformuleerd kan worden als:

Welke aanwijzingen leveren deze antwoorden op, omtrent identiteitskenmerken die eraan kunnen bijdragen dat een schoolleider goed (en beter) functioneert als pedagogisch leider ten aanzien van het onderwijs in de wiskunde?

Om te beginnen moet hier opgemerkt worden dat het realiseren van de kansen op vorming in het wiskunde onderwijs, zoals die geformuleerd werden onder 'positief inspirerende ervaringen' (pagina's 254-260) en onder 'naar inspirerende ervaringen' (zie direct hiervoor), primair behoort tot de professionele verantwoordelijkheid van de leraren wiskunde. Het is ook niet primair aan de schoolleider om leraren op deze kansen te wijzen of om hen voor te schrijven dat en hoe zij deze kansen moeten realiseren. De intrinsieke motivatie om deze kansen te ontdekken en te realiseren moet bij de leraren al aanwezig zijn. Dit geldt voor een groot deel ook voor de (wetenschaps)filosofische en historische intellectuele bagage die exemplarisch geschetst is in de voorafgaande hoofdstukken, en die ook aan leraren wiskunde een vruchtbare voedingsbodem kan bieden voor hun 'vormingswerk'. De verwerving van deze bagage moet idealiter niet helemaal afgeschoven worden op de schoolleiding of op scholingsactiviteiten voor leraren in de school. Het is beter wanneer leraren zich gedeelten daarvan elders kunnen verwerven. Daarmee worden schoolleiding en school ontlast, en komt er ruimte vrij voor integrale ontwikkeling van de vorming-ondersteunende kwaliteit van de school. Deze studie

¹⁵⁸ Hetgeen niet uitsluit, maar wat mij betreft juist insluit, dat zij ook in vaksecties moeten samenwerken.

maakt dus duidelijk dat uit mijn reflecties niet alleen consequenties voor schoolleidersopleidingen volgen, maar zeker ook voor lerarenopleidingen. Daarom zal in deel IV ook aandacht besteed worden aan consequenties voor initiële en post-initiële opleidingen van leraren.

Met betrekking tot de positief inspirerende ervaringen die wiskunde te bieden heeft, is het wel van belang dat een schoolleider zich goed kan voorstellen, dat er leerlingen zijn bij wie juist wiskunde de ontwikkeling van creatief vormgeverschap kan stimuleren. Dit vooronderstelt op zijn minst dat de schoolleider wiskunde niet verafschuwt of minacht (als complementaire reductionist of dualist), maar (ook al hoeft hij zelf die passie niet te delen) dat hij de ontwikkeling van een passie voor wiskunde bij anderen kan herkennen en waarderen. Een dergelijke houding moet, als identiteitskenmerk, een schoolleider in staat stellen om de leraren wiskunde in zijn school 'con amore' te ondersteunen en te stimuleren om de kansen op vorming te verbeteren, die hun vak te bieden heeft. In de samenwerking met deze leraren, en door samen met hen de ontwikkeling van leerlingen met belangstelling te volgen, zal deze schoolleider zich bovendien steeds beter en concreter kunnen voorstellen welk vormgeverschap wiskunde-onderwijs bij leerlingen (en leraren) kan stimuleren.

Met betrekking tot de negatief inspirerende ervaringen is het van belang dat een schoolleider wiskunde niet overschat of onderschat, maar een realistisch beeld heeft van de sterke kanten, beperkingen, verleidingen en risico's van de wiskundige 'bril'. In het verlengde daarvan is het ook van belang dat hij een 'cultuurkritische' en 'maatschappijkritische' visie heeft ontwikkeld op de overschattingen, verleidingen en risico's van de wiskundige benadering in onze cultuur en maatschappij enerzijds, en op de ongenuanceerde vijandschap tegen of afwijzingen van deze benadering anderzijds. Om een dergelijke visie te kunnen ontwikkelen moet een schoolleider zich elementen van wetenschapsgeschiedenis, wetenschapsfilosofie, cultuurfilosofie en dergelijke hebben toegeëigend, zodat deze een bestanddeel vormen van zijn intellectuele bagage. In de voorafgaande hoofdstukken heb ik de relevantie van dergelijke bagage exemplarisch willen aantonen. Daarbij geldt natuurlijk dat een schoolleider zich niet precies die bagage in zijn compleetheid toegeëigend moet hebben, maar wel een soortgelijke bagage. Bovendien kunnen opnieuw leraren wiskunde, wanneer deze zich (door opleiding en/of eigen ontwikkeling) een vergelijkbare kritische visie ontwikkeld hebben, een schoolleider in een gemeenschappelijk proces van visie-ontwikkeling aanvullen. Wanneer een school zijn taak van inleiding en inwijding in cultuur op samenhangende wijze waar wil maken, dan is het voor een schoolleider van belang om samen met de leraren een overall-visie te ontwikkelen, en zich samen voor te kunnen stellen hoe de bijdragen van alle verschillende schoolvakken, waaronder ook wiskunde, leerlingen toerusten en bekwamen om niet alleen schepsels maar ook scheppers van cultuur te zijn.

In het verlengde hiervan zal intrinsieke motivatie om 'eilandvorming' en verkokering voor leerlingen tegen te gaan, ook tot de (wenselijke) identiteitskenmerken van een

schoolleider behoren. De beste manier om leerlingen (c.q. studenten) te laten ervaren dat verschillende benaderingen van kennis en kunde elkaar kunnen aanvullen tot rijkere werkelijkheidsbeelden, en dat mensen met verschillende vormgevers-passies en -kwaliteiten elkaar kunnen aanvullen, is het organiseren van vakoverstijgende ('Bildungs')-activiteiten of -projecten (zie ook einde § 1.d). Omdat de specialisatie-tendensen in het algemeen sterker worden naar mate het onderwijsniveau hoger is, zal de organisatie van dergelijke Bildungs-activiteiten in het algemeen ook meer inzet en creativiteit vragen in hoger- of secundair onderwijs, dan in het primair onderwijs. Dat neemt niet weg dat het opnemen van dergelijke activiteiten in het onderwijsaanbod ook urgenter wordt naar mate het accent op specialisatie toeneemt. Daarom neemt in die richting ook het belang alleen maar toe van pedagogisch leiding geven aan creatieve vormgeving van tegenwicht tegen verkokering en fragmentatie.

Wanneer de schoolorganisatie en het schoolleven, voor zover deze het onderwijs in schoolvakken omringen en ondersteunen, fungeren in overeenstemming met de principes van een onderwijsvisie zoals de hierboven bedoelde, dan geven zij een belangrijke, zo niet onmisbare, ondersteuning aan het realiseren van die visie in het onderwijs. Dat vraagt van een schoolleider, in dit verband, een gefundeerde visie op de constructieve rollen, maar ook op de verleidingen en risico's, die kwantitatief-generaliserend-wiskundige werkwijzen en informatietechnologische toepassingen met zich meebrengen voor de schoolorganisatie en -cultuur. Door vanuit een kritische visie ook bewust vorm te geven aan haar werkorganisatie en aan de schoolcultuur, kan een schoolgemeenschap laten zien dat zij ook buiten de lessen meer doet dan het kritiekloos volgen van heersende trends in cultuur en tijdgeest, maar dat zij ook op dat gebied als gemeenschap schepper is van cultuur. Tegelijk schept zij met die gemeenschappelijke cultuur een inspirerend kader voor de wiskundige bijdrage daaraan. Van een schoolleider vraagt dit dat deze toegewijd en bekwaam is om leiding te geven aan het gemeenschappelijke proces van visie-ontwikkeling dat hiervoor nodig is.

Samenvatting

Als identiteitskenmerken, die eraan kunnen bijdragen dat een schoolleider goed (en beter) functioneert als pedagogisch leider ten aanzien van het onderwijs in de wiskunde, kunnen genoemd worden:

Dat de schoolleider

1. zich kan voorstellen, en ook kan waarderen,
 - + dát wiskunde voor mensen, en dus ook voor leerlingen, positief- en negatief inspirerende ervaringen kan opleveren, en ook globaal weet
 - + welke ervaringen dat zijn, en welk vormgeverschap wiskunde-onderwijs bij leerlingen in principe kan stimuleren;
2. een gefundeerd beeld heeft van de sterke kanten, beperkingen, verleidingen en risico's van de wiskundige 'bril';

3. intrinsiek gemotiveerd is om tegenwicht te bieden tegen verkokering en eilandvorming tussen schoolvakken, en daarom gemotiveerd en in staat is om in de school de samenwerking aan brede vorming ('Bildung') tussen wiskunde en andere disciplines te stimuleren en te ondersteunen;
4. intrinsiek gemotiveerd en in staat is om leiding te geven aan de ontwikkeling van een omringende 'schoolorganisatie'¹⁵⁹, vooral met betrekking tot het gebruik van vruchten van de wiskundige discipline daarbinnen, die in overeenstemming is met de principes van vorming-ondersteunend onderwijs;
5. intrinsiek gemotiveerd en in staat is om in het schoolteam leiding te geven aan visieontwikkeling, op de verbetering en vernieuwing van de vorming-ondersteunende kwaliteit voor leerlingen, die voor de wiskundige cultuurbijdrage een zingevend kader schept, en waarmee de schoolgemeenschap laat zien dat ook zij niet alleen schepsel maar ook schepper is van cultuur.

2 ONDERSTEUNING VAN VORMING

Voor de beantwoording van de vierde familiekwestie, naar wenselijke identiteitskenmerken van schoolleiders, is nu eerst de tweede hulpvraag aan de orde:

Hoe kunnen schoolleiders zich voorstellen dat leraren wiskunde de vorming van leerlingen ondersteunen, en dat zijzelf de vorming van deze leraren ondersteunen?

Omdat deze vraag in twee delen uiteenvalt begin ik met de vraag naar de 'eerstelijns ondersteuning' die leraren wiskunde aan de vorming van leerlingen kunnen geven.

2.a Op eerstelijnsniveau

De bovenstaande vraag kwam in deel I (hoofdstuk 2, § 3.c) al aan de orde, maar toen nog los van toepassing op specifieke schoolvakken. Om deze vraag nu te beantwoorden voor wiskunde onderwijs, zal ik dezelfde richtvragen hanteren die daarbij in deel I werden gebruikt, en ook de daar al gevonden antwoorden kort recapituleren.

Wanneer ik nu de twee richtvragen uit deel I specificieer voor wiskunde-onderwijs, dan luiden zij:

1. *Hoe kan een leraar wiskunde, als pedagogisch leider, ondersteunen dat leerlingen op school geïnspireerd worden?*
2. *Hoe kan een leraar wiskunde, als pedagogisch leider, daarna het leren van zingevende ervaringen verder ondersteunen?*

¹⁵⁹ 'Schoolorganisatie' moet hier verstaan worden in zijn meest algemene betekenis, zodat ook uitdrukkingen zoals 'hogeschool-organisatie' of 'universiteits-organisatie' daarin meebegrepen zijn. Ditzelfde geldt voor 'leerlingen', waarbij ook 'studenten' mede inbegrepen zijn.

Ondersteunen dát leerlingen geïnspireerd worden

In antwoord op de eerste vraag herinner ik nu om te beginnen aan de algemene antwoorden uit deel I¹⁶⁰:

- Wanneer een leraar als persoon leerlingen wil inspireren, dan is het wezenlijk dat hij op authentieke wijze vorm geeft aan de integratie van de verschillende aspecten van zijn leiderschap (waar het pedagogische leiderschap er één van is). Zodoende kan hij voor leerlingen fungeren als een inspirerend model van authenticiteit.
- Om te kunnen fungeren als een authentiek leider, inclusief het pedagogische aspect daarvan, zal de leraar werk moeten maken van zijn eigen vorming. Een essentieel element van het werk maken van zijn vorming tot en als pedagogisch leider is het zorg dragen voor de eigen inspiratie. Die zorg vereist dat hij kundig en creatief onderwijs-situaties organiseert waarin hij geïnspireerd kan worden door de ontwikkeling van leerlingen als vormgevers. Om de vorming van leerlingen te kunnen ervaren is het nodig dat die onderwijs-situaties 'ontmoetings-kwaliteit' hebben.
- Het zorg dragen voor ontmoetings-kwaliteit is ook nodig om de essentiële voorwaarde te creëren voor de mogelijkheid dat leerlingen van hun kant de leraar kunnen ontmoeten. Daarbij zal voor de leraar de ontmoeting met zijn persoon meestal niet het hoogste doel zijn. In het algemeen zal het hem er vooral om gaan dat leerlingen via zijn persoon kennismaken met inhouden en waarden die hem "zeer ter harte gaan".

In aanvulling hierop kan de vraag, naar het ondersteunen dát leerlingen geïnspireerd worden, nu specifiek beantwoord worden voor wiskunde onderwijs. Van tevoren zij daarbij aangetekend dat de suggesties, die aan het voorafgaande ontleend worden, niet of slechts globaal 'vertaald' zijn naar didactisch-passende wijzen waarop zij op verschillende onderwijsniveaus toegepast kunnen worden. Die vertaalslagen worden aan de creatieve collega's overgelaten die hun eigen mogelijkheden en de specifieke leerlingen ook het beste kennen. Daarbij moet ook aangetekend worden dat er vele collega's zijn voor wie een aantal van deze suggesties bepaald niet nieuw zijn, en die al langer bewust inspirerende elementen in hun onderwijs inbouwen.

De kansen op vorming, die in § 4.a onder de titel '*positief inspirerende ervaringen*' beschreven werden (pagina 254-260), bieden allen aanknopingspunten voor ideeën over de inrichting van wiskunde-onderwijs. Het belang van het vertalen naar praktische didactiek werd in een aantal gevallen al onderstreept, zoals bij inzicht, competentie, intuïtie, en 'helpen en geholpen worden', maar dit geldt uiteraard net zo goed voor de andere kansen op vorming die in dit verband genoemd werden. De creatieve vormgevende actie van een leraar, die het besef van een theoretische kans op vorming omzet naar de praktijk is de eerste actie waarmee een leraar ondersteunt dát leerlingen geïn-

¹⁶⁰ Zie hoofdstuk 2, § 3.c / *Het pedagogisch leiderschap van leraren*.

spireerd worden. Daarbij is ook duidelijk dat *de manier waarop* de leraar een kennismaking met inspirerende aspecten van wiskunde organiseert van invloed is op de kracht ervan. De kennismaking met verrassende inzichten zal bijvoorbeeld sterker kunnen inspireren wanneer deze via een vorm van 'zelf-ontdekkend-leren' heeft plaats gevonden, dan wanneer de leraar er alleen enthousiast over heeft verteld. En verder is het ook duidelijk dat omringende besprekingen, kritisch waarderende beoordeling, individuele feedback, en adequate evaluaties deze ervaringen aanzienlijk kunnen onderstrepen en versterken. Bij een experiment met groepsonderwijs in Havo 3 verraste het mij bijvoorbeeld dat deze leerlingen periodieke evaluaties van het 'helpen en geholpen worden' heel belangrijk vonden en daar gepassioneerd aan deelnamen.

Met uitzondering van 'helpen en geholpen worden', dat ook leerlingen kan inspireren die weinig affiniteit met wiskunde hebben, zullen de andere positief inspirerende ervaringen vooral de leerlingen aanspreken die affiniteit met en talent voor wiskunde hebben. Dat is ook goed, want op die wijze kunnen deze laatste leerlingen ontdekken dat en hoe wiskunde een verrijkend element van hun leven kan betekenen, en wordt de maatschappij verzekerd van de instroom van een nieuwe generatie van toegewijde gebruikers, leraren, en ontwikkelaars van wiskunde.

Maar, wiskunde is er niet alleen voor de liefhebbers en getalenteerden, maar ook voor de andere leerlingen. De positieve inspiratiemogelijkheden van wiskunde zijn niet aan iedereen welbesteed. Daarom zijn gesprekken onder leiding van een wiskunde leraar, waarin leerlingen hun algemene waarderings voor wiskunde kunnen uitwisselen ook van groot pedagogisch belang¹⁶¹. Het lijkt mij goed wanneer leerlingen ertoe aangezet worden om erover na te denken of zij wiskunde ervaren als inspirerend, als nuttig hulpmiddel voor andere zaken, of als 'noodzakelijk kwaad'. Met het accepteren van alle posities in dit spectrum wordt voorkomen dat de verleiding tot het 'minder achten' van mensen met minder aanleg of minder affiniteit voor wiskunde een kans krijgt. Met de erkenning, juist *in* de wiskundeles, dat het goed en belangrijk is dat mensen in dit opzicht van elkaar verschillen, kunnen potentieel negatieve ervaringen van de niet- of minder wiskundig aangelegde leerlingen voorkomen worden, en omgezet worden in positieve inspiratie.

Een leraar wiskunde kan een andere categorie van leerlingen inspireren door onderwerpen te behandelen en verhalen te vertellen uit de geschiedenis van wiskunde en informatica, in samenhang met wereldbeelden, godsbeelden en mensbeelden. Deze verhalen kunnen aanleiding geven tot het filosoferen met leerlingen (aangepast aan leeftijd en

¹⁶¹ Uiteraard hangt de vormende waarde van dergelijke gesprekken niet alleen van de inhoud af, maar ook van de *manier* waarop zij gevoerd worden. Dit aspect wordt hier terzijde gelaten. In deel III (hoofdstuk 17, § 2.c / *Filosoferen als eerstelijns-ondersteuning van vorming*) zal dit aspect nader aan de orde komen.

ontwikkelingsniveau) over de kracht en beperkingen van wiskundig denken toen en nu, over wiskundige hoogmoed toen en nu, over de vergelijking tussen boekdrukkunst toen en internet nu, over de kracht, beperkingen verleidingen en risico's van informatietechnologie, et cetera.

In het verlengde daarvan kunnen met leerlingen ook toekomstscenario's behandeld en besproken worden, vooral met het oog op de invloed van wiskundig gebaseerde technologie. Welke maatschappij staat hen en hun kinderen te wachten? Welke ontwikkelingen of trends kunnen zij positief waarderen, en welke risico's moeten tegengegaan worden? Welke groepen, bewegingen of acties zetten zich op dit gebied in voor een betere toekomst? Welke bijdrage kun je daar zelf aan geven?¹⁶² In dit verband zou ook een onderwerp zoals de mythevorming rond superintelligentie¹⁶³, of een andere actuele mythevorming (denk aan science-fiction) aan de orde kunnen komen, en zou de leraar met leerlingen kunnen analyseren hoe irële mythen ontmaskerd kunnen worden.

Het kritisch reflecteren over de eigen schoolcultuur, als representant van de 'grote' cultuur, biedt ook interessante pedagogische mogelijkheden. Hoe wordt het beoordeeld worden in cijfers en andere toetsresultaten ervaren? En het op die basis voortdurend vergeleken worden met anderen? Wat ben je als mens werkelijk waard, afgezien van je cijfers? Is het terecht dat je overgang naar de volgende klas (mede) afhankelijk is van een rekensom? Ervaar je in school ook waardering voor wie je *bent*, afgezien van de cijfers die je *hebt*? Wat heb je nodig om te ontdekken wie je bent en wie je wilt worden? In welke opzicht helpen cijfers, toetsresultaten en vergelijkingen met anderen jou daarbij, en in welk opzicht helpen al die gegevens je niet?

Leerlingen kunnen in de school ook betrokken zijn bij vormen van onderzoek, zoals onderzoeksmatige evaluaties van experimenten met vernieuwingen. Zeker wanneer zij bij dergelijk onderzoek niet alleen als object, maar ook als mede-subject van onderzoek betrokken zijn, kunnen zij (mede begeleid door hun leraar wiskunde) op hun niveau meedenken over de aspecten en vragen die hiervoor in § 3 besproken zijn. In hoeverre heeft statistische kwantificering en berekening zin? Welke ruimte moet gelaten worden voor eigen interpretaties, toepassingen, et cetera? Het 'aan de lijve ervaren' van dergelijk onderzoek, en mede betrokken zijn bij de creatieve vormgeving daaraan en de creatieve interpretatie van uitkomsten, kan een belangrijke impuls voor vorming betekenen, en bovendien vorm geven aan een kritische inleiding in onze cultuur waar allerlei soorten van onderzoek (met alle gradaties in kwaliteit) aan de orde van de dag zijn.

¹⁶² Zoals bekend is het pedagogisch gezien zeer ongewenst om leerlingen te confronteren met doemscenario's zonder tegelijk actiemogelijkheden te bespreken, of direct vanuit de school met de leerlingen aan acties deel te nemen. In plaats van leerlingen een gevoel van machteloosheid te bezorgen, is het van belang om het besef van risico's om te zetten in respect en bewondering voor mensen en groepen die in actie komen, en erover na te denken wat op de eigen weg zou kunnen liggen.

¹⁶³ Zie hoofdstuk 7, § 7.

Wanneer een leraar wiskunde activiteiten onderneemt zoals de tot nu toe gesuggererde, dan begeeft hij zich in de grensgebieden, en ook buiten de grensgebieden van zijn discipline. Het lijkt mij echter van groot belang dat een leraar wiskunde dergelijke grensverkenningen en grensoverschrijdingen onderneemt, omdat hij daarmee voor de leerlingen tegelijk een model is van een persoon die zich niet laat opsluiten in een specialisme of een verkokerde discipline. Tegelijk stimuleren dergelijke ondernemingen ook het inhoudelijk samenwerken van leraren wiskunde met docenten van andere schoolvakken. Bij de bovengenoemde suggesties ligt bijvoorbeeld samenwerking met docenten geschiedenis, levensbeschouwing, filosofie, en maatschappijvakken zoals economie voor de hand. Voor leerlingen bevorderen vakoverstijgende samenwerkingsvormen dat zij inhoudelijke samenhangen tussen de onderwerpen van die vakken kunnen ontdekken.

De hier gegeven opsomming van mogelijkheden en suggesties is uiteraard niet compleet, maar geeft hopelijk wel een beeld dat tot verdere aanvulling, correctie en toepassing aanleiding kan geven. Daarom laat ik het hierbij.

Verder ondersteunen

Hoe kan een leraar wiskunde, als pedagogisch leider, daarna het leren van zingevende ervaringen verder ondersteunen?

Het algemene antwoord dat in deel I¹⁶⁴ op deze vraag gegeven werd, kwam erop neer dat een leraar leerlingen kan ondersteunen om zich verder te ontwikkelen, door hen te stimuleren om zich kennis, vaardigheden, technieken en instrumenten te verwerven die nuttig zijn voor het praktisch realiseren en verbeteren van de vormgeving waartoe zij geïnspireerd zijn. En voorts, dat de leraar attent is op het opdoemen van een 'zone van naaste ontwikkeling', en om dan het initiatief te nemen om samen met de leerling aan te sturen op verdiepende kennismakingen, zodat de leerling op een hoger niveau uitgedaagd en geïnspireerd kan worden.

Wanneer ik nu opnieuw begin bij de leerlingen met affiniteit en talent voor wiskunde, dan is duidelijk dat er voor deze leerlingen al langer interessante mogelijkheden en bronnen voorhanden zijn, voor het opdoen van extra kennis en vaardigheden, het verbeteren van hun vormgeverschap, en het exploreren van inspirerende zones van naaste ontwikkeling. Als voorbeelden hierbij denk ik aan het gebruik dat leraren kunnen maken van het wiskundetijdschrift Pythagoras (voor havo- en vwo-leerlingen), van profielwerkstukprijzen, en van de wiskunde-olympiades waar getalenteerde leerlingen aan deel kunnen nemen.

Wat betreft de andere hierboven genoemde suggesties is het terrein veel minder ontgonnen, en zullen leraren waarschijnlijk nog meer creatief maatwerk van hun ondersteuning moeten maken, en meer met elkaar moeten samenwerken, dan het geval is bij

¹⁶⁴ Zie hoofdstuk 2, § 3.c / *Het pedagogisch leiderschap van leraren.*

de verdere vorming van leerlingen op wier weg het ligt om zich vooral wiskundig te ontwikkelen. Maar, dat neemt niet weg dat die gedifferentieerde voortgaande ondersteuning net zo belangrijk is als de eerstgenoemde. Bovendien is de ondersteuning van 'brederdere vorming' van belang voor alle leerlingen, inclusief de wiskundig getalenteerde, om te voorkomen dat zij te zeer opgesloten raken in eenzijdigheid.

Vanwege het sterke maatwerk-karakter, afhankelijk van leerlingen, van leraren, van schoolsituaties, et cetera, zal ik geen poging doen om deze ondersteuningsmogelijkheden hier verder uit te werken.

2.b Op tweedelijnsniveau

Om te beginnen herinner ik aan de hulpvraag (pagina 277), waarvan het eerste gedeelte nu beantwoord is: *Hoe kunnen schoolleiders zich voorstellen dat leraren wiskunde de vorming van leerlingen ondersteunen, en dat zijzelf de vorming van deze leraren ondersteunen?*

Het ondersteunen van de vorming van leraren wiskunde op tweedelijnsniveau kan nu, naar analogie van het eerstelijnsniveau, in beeld gebracht worden met behulp van de vragen:

1. *Hoe kan een schoolleider, als (ped)agogisch leider, ondersteunen dát leraren wiskunde geïnspireerd worden om de vorming van leerlingen te ondersteunen?*
2. *Hoe kan een schoolleider, als (ped)agogisch leider, daarna het leren van zingevende ervaringen bij de leraren wiskunde van zijn school verder ondersteunen?*

Ondersteunen dát leraren wiskunde geïnspireerd worden

In antwoord op de eerste vraag herinner ik ook hier om te beginnen aan de algemene antwoorden uit deel I¹⁶⁵:

- Wanneer een schoolleider leraren wil inspireren, dan is het van wezenlijk belang dat hij als persoon op authentieke wijze vorm geeft aan de integratie van de verschillende aspecten van zijn leiderschap. Zo kan hij voor leraren fungeren als een inspirerend model van authenticiteit. Zo kan hij bovendien, als *schoolleider*, onderstrepen dat authenticiteit meer is dan een persoonlijke waarde voor sommigen, maar een pedagogische waarde die een belangrijke plaats inneemt in de cultuur van de school als geheel.
- Om te kunnen fungeren als authentiek leider zal de schoolleider werk moeten maken van de eigen vorming. Een essentieel element van dat werk is het zorg dragen voor de eigen (ped)agogische inspiratie. Die zorg vereist dat hij kundig en creatief zowel situaties (ruimte) organiseert waarin hij geïnspireerd kan worden door leerlingen en hun vorming, als situaties (ruimte) waarin hij door de vorming van

¹⁶⁵ Zie hoofdstuk 2, § 3.c / *Het (ped)agogisch leiderschap van schoolleiders*.

leraren als pedagogische leiders geïnspireerd kan worden. Ter wille van zijn inspiratie is het nodig dat deze situaties 'ontmoetings-kwaliteit' hebben.

- In omgekeerde zin is het nodig dat de schoolleider er zorg voor draagt dat leraren (en leerlingen) ook hem kunnen ontmoeten. Daarbij zal voor de schoolleider de ontmoeting met zijn persoon meestal niet het hoogste doel zijn. In het algemeen zal het hem er vooral om gaan dat hij via zijn persoon het commitment uitdraagt om vorm te geven aan de school als een vorming-ondersteunende school, en dat hij de collega's uitnodigt om daarin met hem en met elkaar samen te werken.

De vraag naar het ondersteunen dát leraren geïnspireerd worden moet nu specifiek beantwoord worden voor de ondersteuning van leraren wiskunde (inclusief informatica). In de termen van de hulpvraag (zie boven) is het nu mijn opgave: *om mij voor te stellen hoe een schoolleider zou kunnen ondersteunen dát leraren wiskunde (en informatica) geïnspireerd worden om de vorming van leerlingen te ondersteunen.*

Bij mijn respons op deze opgave moet vooraf aangetekend worden dat ik niet meer kan doen dan *mijn* voorstellingen presenteren. Voorstellingen die beperkt en bepaald zijn door mijn onderwijservaringen en expertise. Mijn respons is maar één voorbeeld van de voorstellingen die een schoolleider kan ontwikkelen. Iedere schoolleider zal in zijn concrete context zijn eigen voorstellings-exercities moeten ondernemen (indien mogelijk samen met anderen), en kan daarbij op andere ideeën komen. Het is mijn bedoeling dat de onderstaande voorstellingen als aanleiding kunnen dienen voor het vormgeven aan eigen voorstellingen.

Procesmatig in teams

Een schoolleider, op wie de eerder samengevatte identiteitskenmerken (pagina 276) van toepassing zijn, kan leraren wiskunde (inclusief informatica) ondersteunen door, als teamcoach, een vaksectie wiskunde-informatica te begeleiden bij intern beraad over de vraag, hoe zij vanuit hun vak de vorming van leerlingen (beter) kunnen ondersteunen. Door het coachen van een dergelijk beraad kan de schoolleider (proberen te) ondersteunen dat de collega's zich bewust worden van de waarde van hun eigen vorming, en van hun motivatie om aan leerlingen de kansen op vorming te gunnen die voor henzelf belangrijk zijn geweest. De schoolleider veronderstelt dat het bewustzijn van deze motivatie, en het herkennen van vorming bij leerlingen, de inspiratie van de collega's kan wekken en versterken, om de vorming van leerlingen (beter) te ondersteunen. Een dergelijk beraad zou de volgende fasen kunnen doorlopen:

- a. Het uitwisselen van de positief en negatief inspirerende ervaringen die voor de eigen wiskundige- en IT-vorming van de collega's belangrijk zijn geweest. In verband daarmee kan ook aan de orde komen, van wie zij welke ondersteuning hebben gekregen om positieve inspiratie op te doen, en om negatieve ervaringen om te zetten in inspiratie. De vraag welke ondersteuning zij, achteraf gezien, hebben gemist is dan natuurlijk ook belangrijk.

- b. Vervolgens kan de vraag aan de orde komen welke rol deze eigen ervaringen met wiskundige vorming gespeeld hebben bij de keuzen om zich verder in wiskunde en/of informatica te verdiepen, en om leraar in dat vak te worden. Met welke vormende aspecten of elementen van wiskunde-informatica willen zij jonge mensen graag kennis laten maken?
- c. In een ander gesprek(sdeel) kan de vraag centraal staan naar positieve- en negatieve inspiratie bij leerlingen, en aan welke uitingen zij die kunnen merken. Welke verheugende of teleurstellende ontwikkelingen zien zij bij leerlingen? En daarbij komt dan ook de vraag naar de geboden ondersteuning. Welke ondersteuning gaven zij, of wilden zij geven, wat bleek te helpen, en wat niet?
- d. De bij c. besproken ervaringen en waarnemingen kunnen geverifieerd en verbeterd worden door onderlinge lesbezoeken (zowel door collega's als door de schoolleider). 'Vreemde ogen en oren' zien en horen meer en anders dan de ogen en oren van de leraar-in-actie.
- e. De onder c. en d. opgedane en besproken ervaringen kunnen systematisch geordend en ge-analyseerd worden. Daarbij kunnen ook externe bronnen in de vorm van literatuur, onderzoekers of andere deskundigen geraadpleegd worden. Het doel daarvan is het beantwoorden van de vraag hoe de betrokken leraren hun ondersteuning kunnen verbeteren. In verband daarmee kan ook nagedacht worden over de vraag of en hoe voorgenomen verbeteringen door onderzoek getoetst kunnen worden.
- f. Dergelijke gesprekken resulteren logischerwijze in het maken van niet-vrijblijvende afspraken over volgende stappen.

Wanneer leraren wiskunde op deze wijze in eigen kring geïnspireerd en toegerust zijn om leerlingen in hun vorming te ondersteunen, en zij met die ondersteuning leerzame ervaringen hebben opgedaan, dan wordt het uitwisselen van inspiratie en ervaringen in vakoverstijgende teams ook zeer belangrijk¹⁶⁶. Leraren van verschillende schoolvakken kunnen elkaar ook inspireren met hun verschillende bijdragen aan de vorming van leerlingen, en met hun verschillende creatieve ideeën over de ondersteuning daarvan. Bovendien is het goed om uit te wisselen hoe leerlingen, voor wie het ene schoolvak een 'noodzakelijk kwaad' is en blijft, kunnen opbloeien bij een ander vak. Met elkaar hebben de leraren van verschillende vakken een completer en rijker beeld van de vorming van

¹⁶⁶ Het is hierbij duidelijk dat het voortgezet onderwijs mijn belangrijkste referentiekader is, en dat ik voor deze onderwijssoort de visie onderschrijf van de collega's die het belang onderstrepen van teamvorming, zowel langs de lijnen van de schoolvakken als rond een cluster van leerlingen, waar een 'kernteam' verantwoordelijk voor is (van der Hilst, 2015). Bij het primair onderwijs kan ik mij voorstellen dat het zin kan hebben om bijvoorbeeld leraren met affiniteit voor rekenen/wiskunde/informatica zich in een tijdelijke werkgroep te laten beraden op vakspecifieke kansen op vorming voor leerlingen, om dat later ook in te kunnen brengen in een 'bouwteam'. Maar, de betrokken collega's kunnen zich uiteraard veel betere voorstellingen daarvan vormen.

leerlingen als geheel. Dit completere beeld kan de inspiratie van de verschillende vakleeraren ook versterken, en wezenlijk bijdragen aan de verbetering van hun ondersteuning. Bovendien kunnen zij op ideeën komen over vakoverstijgende onderwijs-activiteiten die aan 'brede vorming' van leerlingen kunnen bijdragen.

Ook bij dergelijke vakoverstijgende teams kan coaching door een schoolleider (tijdelijk) van belang zijn. Bijvoorbeeld om te bevorderen dat het team zich concentreert op vorming en ondersteuning, ook wanneer er andere zaken zijn die dringend om aandacht vragen. Bij een vakoverstijgend beraad kunnen bovendien een aantal van de hiervoor geschetste fasen op aangepaste wijze ook aan de orde komen, en kan het voor de zorgvuldige procesgang langs deze fasen helpen wanneer een betrekkelijke buitenstaander, zoals een schoolleider, dit begeleidt.

Bij het ondersteunen van de vorming van wiskunde- en andere leraren, in vakspecifieke-vakoverstijgende- of schoolbrede teams, kunnen schoolleiders eventueel gebruik maken van het 'dubbele bodem principe' (zie deel I, hoofdstuk 2, § 3.c). Wanneer er enige analogie is tussen de wijze waarop zij leraren ondersteunen, en de wijze waarop leraren de vorming van leerlingen kunnen ondersteunen, dan is het goed om die analogie bewust te maken. Zodoende kan de ervaring, om op een bepaalde wijze zelf geholpen te worden om inspirerende ervaringen op te doen en daarvan te leren, de leraren ook inspireren om zich voor te stellen hoe zij op analoge wijze hun leerlingen van dienst kunnen zijn.

Inhoudelijk in teams

Naast de tot nu toe genoemde voorstellingen van ondersteuning, die grotendeels een procesmatig karakter hebben, kan een schoolleider het pedagogisch leiderschap van leraren wiskunde in de hierboven genoemde teams ook inhoudelijk ondersteunen. Een schoolleider is daartoe in staat wanneer deze, op grond van zijn eigen vorming, toegevoegde waarde te bieden heeft bij het conceptualiseren van belangrijke aspecten van dit pedagogische leiderschap. En, in het geval van leraren wiskunde, in een taal die deze leraren verstaan. De schoolleider hoeft niet helemaal de passie voor wiskunde te delen die de leraren hebben, maar hij moet van de positief inspirerende ervaringen die wiskunde te bieden (§ 1.a) heeft voldoende begripen om daar de goede vragen over te kunnen stellen, en om oprechte belangstelling te hebben voor de antwoorden. Daarnaast moet de schoolleider zich ook kunnen identificeren met de leerlingen voor wie wiskunde alleen nuttig is, of een noodzakelijk kwaad, om met wiskunde- en andere leraren mee te kunnen denken over de ondersteuning van deze leerlingen bij het omzetten van negatieve ervaringen (§§ 1.c en 1.d) in inspirerende ervaringen.

Zoals hierboven bij e. genoemd is, maakt het systematisch ordenen en analyseren deel uit van de teamgesprekken. In een dergelijke fase is het van belang dat een schoolleider gemotiveerd en in staat is om inhoudelijk leiderschap te tonen. Een schoolleider kan bijvoorbeeld de bijzondere aard van het 'gevolgijkheidsprobleem' benadrukken, zoals dat in hoofdstuk 2, § 4.b beschreven is. Omdat er bij de ondersteuning van vorming een

andere modus van gevolglijkheid aan de orde is dan de gevolglijkheden waarop wiskunde en exacte wetenschappen zich concentreren, is het van belang dat het besef daarvan helder is en dat er met die bijzondere aard rekening gehouden wordt bij het conceptualiseren en analyseren van deze samenhang¹⁶⁷.

Procesmatig schoolbreed

De reden dat hierboven allereerst aandacht is besteed aan bezinning op teamniveau, is het belang van '*gedeeld eigenaarschap*' bij de leraren, van de ideeën over vormingsprocessen bij leerlingen, over de ondersteuning daarbij en over het belang daarvan. Leraren kunnen immers alleen geïnspireerd en creatief vormgeven aan hun ondersteuning van vorming wanneer zij al eigenaar zijn van idealen en gedachtengoed dat daarop gericht is. Wanneer het schoolbeleid die inspanningen van leraren wil bundelen, dan moeten zij hun idealen en gedachtengoed daarin kunnen inbrengen, en zodoende mede-eigenaars worden van dit beleid. Dit gedeelde eigenaarschap kan men niet bereiken wanneer leraren op de werkvloer individueel en geïsoleerd 'koning zijn in eigen lessen', en de schoolleiding alleen op schoolniveau het aannemen van een schoolbrede missie en visie probeert gedaan te krijgen. 'Gedeeld eigenaarschap' moet groeien, en dat kost tijd. Teams die zich duurzaam tot en als teams ontwikkelen bieden daarvoor de meest geschikte voedingsbodem.

Uiteraard is het vervolgens van belang dat er schoolbrede uitwisselingen georganiseerd worden tussen de teams, zodat zij elkaar kunnen inspireren met ervaringen en creatieve ideeën, en zodat -waar dat gewenst is- onderlinge afstemming en samenwerking tussen teams afgesproken en georganiseerd kan worden. Uiteraard vormt het 'vormingsbeleid' maar één belangrijk aspect van deze uitwisselingen. Dit beleidsaspect heeft echter wel als bijzonderheid dat het 'van nature' van bovenaf alleen ondersteund en niet opgelegd kan worden. Bij uitwisselingen daarover is het essentieel dat enerzijds alle ruimte gegeven wordt aan verschillen, en dat anderzijds, op een geschikt moment, ook gezocht wordt naar een inspirerende formulering van "wat het zingevende is dat ons verbindt". Het gezamenlijk zoeken naar een dergelijke formulering is een onzeker en spannend proces. Minder zeker dan een missie en een visie die van bovenaf worden opgelegd, of die er met meerderheid van stemmen worden doorgedrukt, maar ook spannender, en meer inspirerend. Het kan voorkomen dat er genoeg genomen moet wor-

¹⁶⁷ In deel III, hoofdstuk 15, § 2, zullen de concepten 'vorming' en 'ondersteuning' nader uitgewerkt en genuanceerd worden, in aanvulling op wat daarover al geschreven werd in deel I, hoofdstuk 2, § 3. Persoonlijk toegëigende kennis van dergelijke conceptuele uitwerkingen en nuanceringen kan een schoolleider in staat stellen om toegevoegde waarde te bieden bij dit ordenen en systematiseren. Op de ondersteuning door de schoolleider bij onderzoek wordt hierna nog teruggekomen in § 3.

den met de uitkomst "dat er wel iets zingeovends is dat ons verbindt, maar dat we (nog) niet weten hoe het geformuleerd moet worden"¹⁶⁸.

Terugkerend naar de vraag, of schoolleiders in dit verband kunnen ondersteunen dát leraren wiskunde geïnspireerd worden, kan nu het antwoord zijn, dat een via vakteams en kernteams 'bottom-up' ontwikkeld schoolbreed vormingsbeleid voor leraren wiskunde inspirerend kan zijn, omdat hun ervaringen, expertise en creativiteit daarin niet gemist kunnen worden, en zij zodoende een waardevol aandeel aan het grotere geheel kunnen leveren. Uiteraard geldt dit niet alleen voor hen, maar voor alle leraren.

Inhoudelijk schoolbreed

Ook al heeft het vormingsbeleid als bijzonderheid dat het 'van nature' van bovenaf alleen ondersteund kan worden, zoals hierboven werd gesteld, dan sluit dit zeker niet uit dat de schoolleiding daarbij inhoudelijk leiderschap toont. In tegendeel, de schoolleiding kan deze beleidsvorming wezenlijk ondersteunen door het introduceren van een conceptueel kader waarbinnen verschillende bijdragen 'op hun plek kunnen vallen'. Uiteraard kan die introductie tegenstemmen en discussie oproepen. Beter gezegd: die introductie *moet* discussie oproepen, om te maken dat de leraren zich dat kader kunnen toe-eigenen om er mede-eigenaar van te worden. Maar, als eerstverantwoordelijken voor de integratie van alle diverse bijdragen tot een samenhangend beleid, zijn schoolleiders ook eerstverantwoordelijk voor het realiseren van de conditie dát er een integreerend kader moet zijn. Het nemen van initiatieven daartoe ligt op de weg van de schoolleiding.

Het bovenstaande is nog abstract. Om duidelijk te maken wat men zich bij een dergelijk kader voor vormingsbeleid kan voorstellen, zal ik hieronder drie ingrediënten presenteren waarvan ik mij *nu* (aan het einde van dit deel over wiskunde en vorming) kan voorstellen dat die deel kunnen uitmaken van een dergelijk kader. Uiteraard opnieuw bedoeld als voorbeelden, waar andere voorbeelden naast gezet kunnen worden.

1. Dat de schoolcultuur in het klein kenmerken weerspiegelt van de omringende samenleving en cultuur blijkt onder andere uit '*het cohesieprobleem*' (Schnabel & de Hart, 2008). Hiermee wordt bedoeld dat sociale cohesie, in groepen waar mensen bij willen horen, gepaard kan gaan met de neiging om zich af te sluiten voor alles dat, en iedereen die, daarbuiten valt. Interne cohesie kan externe cohesie tegenwerken.

¹⁶⁸ Als docent bij een Lerarenopleiding Levensbeschouwing / Godsdienst (Educatieve Faculteit Amsterdam) maakte ik een dergelijk visie-ontwikkelingsproces mee. De verschillen tussen de docenten waren dermate groot dat wij lange tijd geen gemeenschappelijke noemer konden vinden. Totdat een buitenstaander, een collega van één van de scholen waar onze afgestudeerden werkzaam waren, opmerkte dat het bijzondere van onze opleiding was, dat studenten werden opgeleid tot 'ruimdenkende leraren levensbeschouwing'. Toen wisten we pas wat het was dat ons verbond (Lengkeek, 2000).

Interne cohesie kan gepaard gaan aan wij-zij-denken, wantrouwen, vijandsbeelden, onverschillige tolerantie, of opportunistisch kameleongedrag, en zo kan cohesie op kleine schaal cohesie op de grotere schalen van cultuur en samenleving ondermijnen. De vraag, hoe cohesie op kleine schaal en cohesie in grotere verbanden elkaar kunnen versterken, in plaats van ondermijnen, is daarom voor onze gedifferentieerde, gespecialiseerde en pluriforme samenleving een belangrijke kwestie.

De geschiedenissen van reductionisme en dualisme (pagina 260-270) maken duidelijk dat ook wetenschappelijke- en andere disciplines op hun manier kunnen bijdragen aan een cultuur waarvan dit 'cohesieprobleem' een kenmerk is¹⁶⁹. Hun bijdrage aan dit probleem betreft weliswaar niet de cohesie tussen mensen met verschillende traditionele, etnische, politieke of raciale achtergronden, maar, vakinhoudelijk bepaald, tussen mensen die tot verschillende disciplines behoren en die verschillende benaderingen van kennis en onderzoek hanteren.

De school maakt deel uit van deze cultuur en maatschappij, en ontkomt daarom ook niet aan het sociale en aan het vakinhoudelijke cohesieprobleem. In de schoolcultuur reflecteert de indeling van leerstof in gescheiden schoolvakken, die apart onderwezen en beoordeeld worden, de indeling in disciplines binnen de omvattende cultuur. Wanneer leraren en schoolleiders zich een reductionistische of dualistische benadering hebben eigen gemaakt, dan biedt de school met zijn gescheiden schoolvakken een structuur die het doorgeven van deze benaderingen aan volgende generaties bepaald niet in de weg staat. Deze structuur laat toe dat zelfgenoegzame vakleraren het als hun missie beschouwen om onder leerlingen volgelingen te kweken van hun vakmatige provincialisme. Wanneer deze benaderingen de schoolcultuur domineren, dan gaat de school fungeren als 'voorsorteerstation' voor het toeleiden van iedere leerling naar zijn favoriete gebied van 'gescheiden ontwikkeling'. Zolang als het verplicht is volgen leerlingen hun niet-favoriete vakken als 'noodzakelijk kwaad', en zodra als het mogelijk is kunnen zij deze niet-favoriete vakken 'laten vallen'. Zoals in hoofdstuk 3 betoogd werd (§ 2.b) kunnen dergelijk reductionisme of dualisme enerzijds, en sciëntistisch-existentialistische of metafysisch-apriorische levensbeschouwingen anderzijds, elkaar in de hand werken. En, zoals in datzelfde hoofdstuk ook betoogd werd, het laten ontstaan of bewust bevorderen van een dergelijke schoolcultuur impliceert tegelijk het volgen van specifieke pedagogische keuzes. Wanneer men levensbeschouwelijk een derde weg kiest, dan moet men ook pedagogisch een alternatieve koers kiezen.

Het pedagogisch alternatief impliceert *niet* een keuze voor het afschaffen van schoolvakken. Bijvoorbeeld: de inleiding in wiskunde en informatica, als aspect van onze cultuur dat inspirerende ervaringen te bieden heeft, vraagt om geconcen-

¹⁶⁹ Een schoolleider hoeft deze geschiedenis uiteraard niet beslist uit de geschiedenis van wiskunde en informatica te kennen, maar kan deze geschiedenis ook kennen vanuit de invalshoek van een andere discipline.

treerde aandacht. Een concentratie die alleen te bereiken is door het onderwijs in dit vak, in de tijd en in verschillende andere opzichten, af te bakenen van ander onderwijs. Daarom *moet* de school het algemene cultureel-maatschappelijke kenmerk, van onderlinge afbakeningen tussen disciplines en praktijken, ook intern reflecteren.

Zowel maatschappelijk als schoolintern is het probleem niet, dát er grenzen en afbakeningen zijn, maar het probleem begint bij de vraag, hoe deze grenzen functioneren, en wat het resultaat daarvan is voor de cohesie in groter verband. Wanneer ik dit nu op de school toepas, dan kan ik het cohesieprobleem als volgt formuleren:

Het probleem is, hoe de concentratie op schoolvakken binnen noodzakelijke grenzen niet leidt tot onderling isolement en desintegratie, maar hand in hand kan gaan met de ontwikkeling van inhoudelijke en sociale cohesie binnen de school als samenlevingsverband, en als plaats voor inleiding en inwijding in een coherente cultuur.

De oplossing van dit probleem is niet eenvoudig. Op het niveau van onze samenleving als geheel zijn er geen eenvoudige recepten voorhanden, en ook binnen het kleinere verband van een school zal de oplossing geduld, tact en creativiteit vereisen. Bovendien, omdat de situatie van iedere school verschillend is, ligt het voor de hand dat er geen standaardoplossing is, maar dat iedere school die werk wil maken van dit probleem, daar zijn eigen oplossingen voor moet vinden. Het lijkt mij echter wel van groot belang dat scholen werk maken van hun cohesieprobleem. Met name, om te laten zien dat ook een school niet alleen een schepsel is van cultuur, maar ook een schepper van cultuur kan zijn. Het gaat bij het cohesieprobleem immers om de vraag of men als gemeenschap vorm wil geven aan een coherente cultuur, en zo ja, wat dan de gewenste inhoud van die coherente cultuur is. Bij het laatste deel van deze vraag komen dan ook de fundamentele pedagogische keuzes, die hierboven genoemd werden, aan de orde. Voor leerlingen kan de ervaring, om mee te maken dat en hoe hun school niet een passief doorgeefluik is van cultuur, een belangrijke bemoediging en inspiratie betekenen om ook zichzelf te ontwikkelen als scheppers van cultuur.

Het is dus aan de scholen zelf om vorm te geven aan eigen oplossingen. Kennis van en inzicht in de wetenschapsgeschiedenis van reductionisme en dualisme, die mede voor het cohesieprobleem van onze westerse cultuur verantwoordelijk is, kan schoolleiders en leraren in staat stellen om te herkennen hoe deze 'grote geschiedenis' zich in het klein binnen de school kan herhalen, en kan inspireren om uitwegen uit deze herhalingen te zoeken. Bovendien kunnen leraren en schoolleiders met kennis van wetenschapsgeschiedenis zich ook laten inspireren door de uitwegen uit de impasses van reductionisme en dualisme die wetenschappers en filosofen gevonden hebben.

2. De in dit deel gevolgde *modelbenadering* is een voorbeeld van zo'n uitweg. Het concept 'model' staat daarin centraal. Dit concept werd in hoofdstuk 4, § 1.b, geïntroduceerd, in de vorm die aan Robert Rosen werd ontleend. Volgens dit concept is kennis belichaamd in een model. Een model is in dit verband een talige constructie die

bedoeld is om, in de logica die inherent is aan de taal van het model, gevolglichheid af te beelden die eigen is aan een origineel systeem. Essentieel hierbij is, dat origineel en model niet samenvallen, maar dat het model een re-presentatie is (in taal) van een origineel. De consequentie daarvan is, dat ook de logische gevolglichheid van het model niet samenvalt met de gevolglichheid van het origineel, maar ook een afbeelding ofwel re-presentatie daarvan is. Uiteraard is het wel de bedoeling dat de gevolglichheden van het originele systeem en van zijn model zo goed mogelijk corresponderen. Kortom: kennis(ontwikkeling) wordt opgevat als *beeldvorming*, waarbij aan de beeldvorming kwaliteitseisen gesteld worden, die voor een deel algemene onderzoekskwaliteit betreffen en deels specifiek zijn voor een discipline.

Het besef van betrekkelijkheid is kenmerkend voor de modelbenadering. Niet alleen omdat een model alleen maar als model begrepen kan worden vanuit dit besef, maar ook omdat ingrijpende vernieuwingen die van tijd tot tijd nodig zijn dit besef vereisen. Vernieuwingen, die bijvoorbeeld in de ontwikkeling van wiskunde en informatica nodig bleken toen:

- de standaard-meetkunde onvanzelfsprekend werd (hoofdstuk 5, § 1),
- absolute bewijzen van consistentie en volledigheid onmogelijk bleken, ofwel aangetoond werd dat de wiskunde zichzelf niet via een eindig formaliseringsproject kon funderen (hoofdstuk 5, § 5),
- aangetoond werd dat er veel wiskundige problemen zijn die niet volgens een recursieve step-by-step procedure opgelost kunnen worden (hoofdstuk 6, § 1),
- de ambities van rigoureuus formaliseren en 'strong AI' fundamenteel onhaalbaar bleken (hoofdstuk 6, §§ 2 en 3; hoofdstuk 7, § 7),
- een vergaand ge-operationaliseerd wiskundig onderzoeksdesign de vooroordelen en stereotypen van onderzoekers bleek te representeren (hoofdstuk 9, § 3).

Wanneer in dergelijke situaties van moeilijkheden, twijfel, falen, of teleurstelling dit besef van betrekkelijkheid ontbreekt, dan liggen puur defensieve reacties voor de hand. Maar, wanneer in deze situaties wél het besef aanwezig is, of terugkeert, dat modellen betrekkelijk en tijdgebonden mensenwerk zijn, en soms aan herziening toe zijn, dan kunnen juist deze situaties inspireren om het creatieve mensenwerk van modelvorming met een nieuw elan op te pakken.

Wanneer men het wetenschappelijke cohesieprobleem werkelijk op wil lossen, dan zijn er nog aanvullingen op het bovenstaande nodig.

Een radicale verwerping van het reductionisme vereist de keuze voor een uitgangspunt dat reductionisme uitsluit. Het uitgangspunt, dat iedere vruchtbare kennisbenadering berust op concentratie op een werkelijkheids*aspect*, ligt dan het meest voor de hand. De keerzijde van die concentratie is dan, dat iedere kennisbenadering ook als selectief en beperkt beschouwd moet worden, ofwel als berustend op een vereenvoudiging (reductie) van de werkelijkheid tot een aspect. Volgens deze opvatting is dé werkelijkheid onuitputtelijk rijker dan wat wij ervan kunnen kennen.

Een radicale verwerping van het dualisme vereist dat er ook van uitgegaan wordt dat de werkelijkheid, die slechts in aspecten kenbaar is, toch één coherente

werkelijkheid is. Dat impliceert dat het én-én van al die verschillende benaderingen geen onverschillig én-én kan zijn. De verschillende soorten van kennis die verschillende benaderingen opleveren moeten kunnen samengaan in één coherent, rijk geschakeerd beeld. Dat zijn zij als het ware aan de rijkdom van die ene coherente werkelijkheid verplicht. Dat impliceert dat 'dissonanties' of ongerijmdheden tussen verschillende benaderingen evenzovele (tot vernieuwing inspirerende) uitdagingen betekenen voor elk van de betrokken kennisbenaderingen¹⁷⁰.

De modelbenadering kan dus als *methode* gehanteerd worden voor de vermindering van reductionisme en dualisme. En bovendien als methode om te identificeren op welke aspecten bijvoorbeeld wiskundige modellen zich concentreren, en welke aspecten zij negeren. Ook bij andere disciplines, zoals de fysische wetenschappen (zie het volgende deel), kan de modelbenadering in staat stellen om verschillende kennisbenaderingen als selectieve 'brillen' te herkennen en nader te onderzoeken.

3. Als derde mogelijkheid voor ingrediënten van een kader voor vormingsbeleid, herinner ik aan de activiteitstheorie van Engeström, die in hoofdstuk 2, § 1, geïntroduceerd werd. Zijn concept van activiteitssystemen, die profiteren van intensief grensverkeer, en van het werken aan gemeenschappelijke 'grensobjecten', kan eveneens dienen als bruikbaar hulpmiddel bij de aanpak van het cohesieprobleem. Dit concept is ook toepasbaar op de kleine schaal van een schoolcultuur. Engeströms concept van 'expansief leren' (2001), als het leren van grensoverschrijdende interacties, kan ook binnen de school inspireren tot een praktische aanpak van het vakinhoudelijke 'cohesieprobleem' (en ook tot aanpak van andere cohesieproblemen).

Individueel

De bovenstaande voorstellingen van wijzen waarop schoolleiders kunnen ondersteunen dát leraren wiskunde geïnspireerd worden, hadden betrekking op ondersteuning van teams. Daarom zij hier volledigheidshalve vermeld dat schoolleiders uiteraard, bij verschillende gelegenheden (zoals individuele personeelsgesprekken), ook in één op één contacten, vanuit dezelfde achtergronden als hierboven aangeduid, zowel procesmatig als inhoudelijk kunnen ondersteunen dat leraren wiskunde geïnspireerd worden.

Verder ondersteunen

Hoe kan een schoolleider, als (ped)agogisch leider, daarna het leren van zingevende ervaringen bij de leraren wiskunde van zijn school verder ondersteunen?

¹⁷⁰ Een voorbeeld hiervan is al beschreven in hoofdstuk 2, § 4.b / *Machine als paradigma*, naar aanleiding van de dissonanties rond 'de vrije wil' tussen causaal verklarende en hermeneutische wetenschappen.

Het algemene antwoord dat in deel I¹⁷¹ op deze vraag gegeven werd, kwam erop neer dat de schoolleider bevordert dat geïnspireerde leraren elkaar blijven ontmoeten, en dat zij het leren van de inspiraties en frustraties van pedagogisch leiderschap tot een vast bestanddeel maken van hun samenwerking.

Afhankelijk van wat zij daarbij individueel en als teams ontdekken kan de schoolleider ondersteunen dat zij zich de benodigde kennis, vaardigheden, technieken en instrumenten eigen maken, en hij kan binnen de schoolorganisatie bijdragen aan het scheppen van voorzieningen die vorming-ondersteunende werkvormen in het onderwijs beter mogelijk maken.

En in de derde plaats kan de schoolleider alert zijn op het bereiken van een zone van naaste ontwikkeling in pedagogisch leiderschap door teams en door individuele leraren, en dan initiatieven nemen om samen met hen vorm te geven aan ondernemingen waarin zij op een hoger niveau uitgedaagd en geïnspireerd kunnen worden.

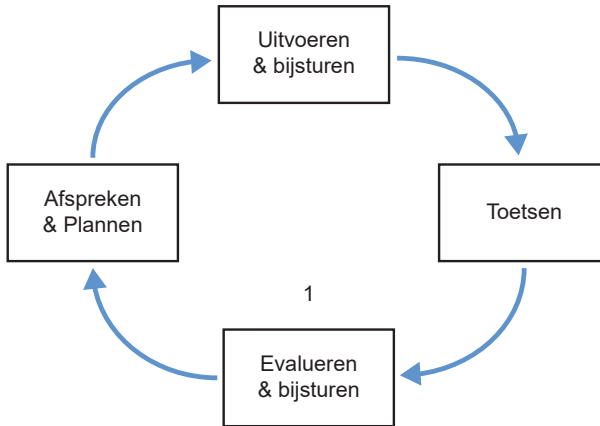
Procesmatig in teams

Wanneer ik dit algemene antwoord nu specificeer voor de hierboven beschreven procesmatige begeleiding van een vaksectie en van een kernteam (pagina 283-285), dan kan daarop de volgende aanvulling gegeven worden:

De schoolleider kan de voortgaande vorming in pedagogisch leiderschap van wiskunde- en andere leraren in deze teams ondersteunen door het introduceren van één of andere vorm van reflectie-, leer- of verbetercyclus. Daarvan zijn vele varianten in omloop, en kan er een variant gekozen worden die het beste bij het team in kwestie past. Bovendien kan daaruit in de loop van de tijd een eigen variant ontstaan. Een globaal voorbeeld van een dergelijke cyclus is afgebeeld in figuur 19. Cruciaal daarbij is dat in de werkwijze van het team de *discipline* wordt ingeslepen om een dergelijke cyclus consequent te blijven volgen. De praktijk leert dat de verleiding sterk is om bijvoorbeeld wel te evalueren, maar om vervolgens geen concrete afspraken en plannen te maken, weer tot de orde van de dag over te gaan, en weer in oude routines terug te vallen. Het leiderschap van een schoolleider die dergelijke verleidingen onderkent, maar vastbesloten is om daar niet aan toe te geven, kan cruciaal zijn om te bevorderen dat de cyclus consequent gevolgd wordt, een zelfdiscipline wordt, en dan ook bijdraagt aan de zingevende ervaringen van werkelijk iets leren en werkelijk voortgang boeken.

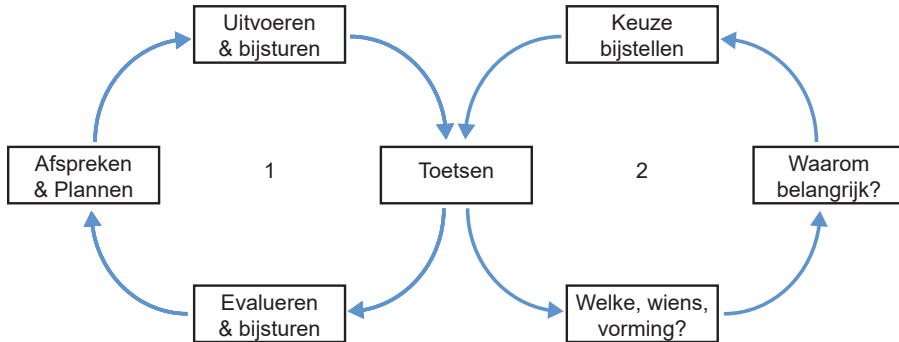
¹⁷¹ Zie hoofdstuk 2, § 3.c / *Het (ped)agogisch leiderschap van schoolleiders*.

Figuur 19



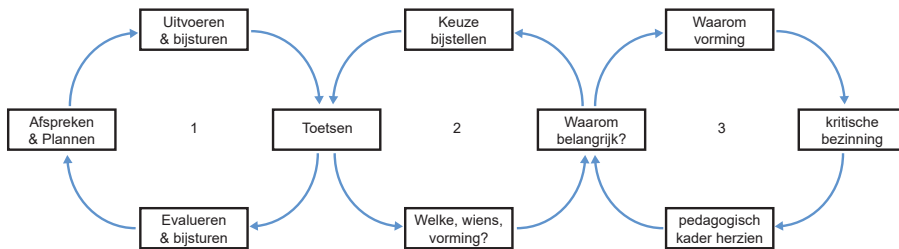
Daarnaast is het van belang dat de schoolleider de kunde en de kunst verstaat om op een goed gekozen moment de aanzet te geven om de 'single-loop' verbetercyclus aan te vullen met een 'second loop', zodat verbetering en vernieuwing samen een 'double-loop' systeem vormen (Argyris & Schön, 1978; Morgan, 1986, pp. 77-109). Een voorbeeld van een double-loop systeem is afgebeeld in figuur 20. Terwijl een verbetercyclus (1) veronderstelt dat de doelen, ten opzichte waarvan verbetering gewenst is, niet ter discussie staan; staan in een 'second loop' (2) die doelen juist wel ter discussie, en komt de vraag aan de orde of er wellicht andere of betere doelen gekozen moeten worden. Met betrekking tot vorming kunnen bijvoorbeeld vragen aan de orde komen zoals: "moeten we niet ook andere soorten of aspecten van vorming ondersteunen?", of: "moeten we niet ook de vorming van andere leerlingen ondersteunen dan degenen die we tot nu toe ondersteunen?". Wanneer in een team dergelijke vragen opkomen kan dit betekenen dat het team toe is aan een zone van naaste ontwikkeling. Het doorlopen van een 'second loop' kan leiden tot het formuleren van nieuwe ambities en doelen. In de uitvoering daarvan kan het team zijn vormgevend vermogen op een nieuw niveau ontwikkelen. Bij een dergelijke bezinning kan een schoolleider, als agogisch leider, een belangrijke rol spelen.

Figuur 20



Vervolgens moet genoemd worden dat de schoolleider in deze teams op een goed moment ook een 'third loop' bezinning kan initiëren (zie figuur 21). Het 'double-loop' systeem wordt dan aangevuld tot een 'triple-loop' systeem (Isaacs, 1993).

Figuur 21



De tijd is rijp voor het doorlopen van deze cyclus wanneer er vragen opkomen zoals: "wat betekenen al die mooie woorden over vorming nu werkelijk voor ons?", of: "schieten we niet te ver door in ons accent op vorming, en gaat dat niet ten koste van andere zaken die in het onderwijs belangrijk zijn?", of: "heeft al die tijd en energie die wij aan vorming besteden wel zin, als elders in de maatschappij bij leerlingen afgebroken wordt wat wij opbouwen?". De oude formuleringen, waarin ooit een vormingsbeleid of een pedagogisch kader geformuleerd werd, zijn nu eenmaal aan slijtage onderhevig. Na een bepaalde tijd beginnen betekenissen die aanvankelijk helder waren te vervagen, en het verhaal begint zijn inspirerend vermogen te verliezen. Een zingevend kader kan niet op één moment voor altijd vastgesteld worden, maar vraagt regelmatig om herbezinning, en nieuwe formuleringen.

Het lijkt mij van belang dat een schoolleider dergelijke signalen herkent, wanneer zij opkomen in de teams die hij begeleidt. Dergelijke signalen kunnen erop wijzen dat de ooit afgesproken formuleringen van het vormingsbeleid van de school hun zingevende kracht beginnen te verliezen, dat twijfel aan de idealen en waarden die ooit geformuleerd werden de kop opsteekt, dat mede-eigenaarschap verloren gaat, et cetera. Het is

van belang dat de schoolleider open staat voor dergelijke signalen, accepteert dat er collega's zijn die het zo ervaren, en -hoe verleidelijk het ook kan zijn- niet teveel in de verdediging schiet.

De negatieve gedachten en ervaringen kunnen omgezet worden in inspiratie wanneer zij als aanleiding gebruikt worden voor constructieve reflecties en bezinning. Wanneer er in de school deelteams gevormd zijn, die voor de leraren als 'thuisbasis' fungeren, dan zijn deze teams de eerst in aanmerking komende plaatsen voor dergelijke reflecties en bezinningen. Wanneer een dergelijk proces goed verloopt, dan biedt de uitkomst voor leraren wiskunde (en ook voor alle andere leraren) weer een inspirerend kader voor de specifieke bijdrage die zij aan de vorming van leerlingen te bieden hebben.

Inhoudelijk in teams

De vraag is nu, wat een schoolleider *inhoudelijk* kan bijdragen bij elk van deze soorten van leercycli.

First loop leren. Deze cyclus houdt in dat de teamleden (in een vaksectie of in een kern-team) zich beraden op verbetering van de ondersteuning, van een aspect van vorming dat zij al ondersteunen. Bij het denken over deze verbetering kan de schoolleider, wanneer dit wenselijk en adequaat is, opnieuw de bijzondere aard van de samenhang tussen vorming en ondersteuning aan de orde stellen (pagina 285 e.v.), en de ontwikkeling van verdiept en meer genuanceerd inzicht daarin stimuleren¹⁷².

Daarnaast is de betrokkenheid van de schoolleider inhoudelijk van belang omdat hij kan meedenken over de benodigde verbetering van kennis, vaardigheden, technieken, instrumenten en andere voorzieningen, waar hij vanuit zijn positie een specifieke bijdrage aan kan leveren (pagina 291). Met betrekking tot didactische aspecten (inhouden, interactievormen, werkvormen, et cetera) ligt het voor de hand dat het meedenken van de schoolleider van dezelfde aard is als het meedenken van de collega-leraren.

In het kader van verbeterend leren kan ook de vraag aan de orde komen of een verbetering van ondersteuning ook via onderzoek getoetst kan worden. Het antwoord op deze vraag komt aan de orde in de volgende sub-paragraaf, die het onderwerp 'onderzoek' tot thema heeft.

Second loop leren. In deze cyclus is de vraag aan de orde "are we doing the right things?". Met andere woorden: "ondersteunen we de belangrijke aspecten van vorming, en hebben we daarbij alle leerlingen op het oog die onze ondersteuning verdienen?". Wanneer de schoolleider een zekere voorsprong heeft op de leraren, in het denken over vorming,

¹⁷² In deel III, hoofdstuk ??, zal een verdere verkenning ondernomen worden van de concepten 'vorming', 'ondersteuning' en de relatie tussen deze beiden. Opnieuw met de bedoeling om inhoudelijk materiaal aan te dragen dat bruikbaar kan zijn wanneer men die relatie wil verbeteren.

dan kan hij op grond daarvan een bijdrage geven. Het kan bijvoorbeeld voorkomen dat leraren wiskunde vooral de vorming van leerlingen ondersteunen die kunnen genieten van de positief inspirerende aspecten van wiskunde (§ 1.a). Een schoolleider, met een bredere kijk op vorming, kan dan wijzen op het risico dat wiskunde-kids zich ontwikkelen tot 'nerds' die, door hun eenzijdige ontwikkeling, in moeilijkheden raken op sociaal, emotioneel of relationeel gebied. En daarnaast kan hij erop wijzen dat de leraar wiskunde ook een opvoedende taak heeft voor leerlingen voor wie wiskunde zelden of nooit een inspirerende bezigheid zal worden. Bij die leerlingen gaat het erom dat zij ondersteund worden bij het leren om negatieve ervaringen met wiskunde toch om te zetten in inspiratie (§§ 1.b t/m 1.d).

Om daaraan een inhoudelijke bijdrage te kunnen geven is het nodig dat de schoolleider (geïnspireerd door zijn ervaringen in de teams) werk blijft maken van zijn eigen vorming. Bijvoorbeeld op het 'psychologische' gebied van de beperkingen en verleidingen van wiskundig functioneren, en op het bredere culturele gebied van de positieve en negatieve invloeden van mathematica en informatietechnologie. Waar leraren zich vooral moeten concentreren op de 'ins en outs' van het onderwijs in hun vakgebied, kunnen schoolleiders hen aanvullen door zich toe te leggen op inzicht in grotere verbanden.

Third loop leren. Ook in dit verband geldt, dat het van belang is dat de schoolleider (geïnspireerd door zijn ervaringen in de teams) werk blijft maken van zijn eigen vorming op de gebieden van fundamentele pedagogische vragen, van maatschappelijke en culturele ontwikkelingen, en van de levensbeschouwelijke implicaties van dit alles. Daarbij is het ook van belang dat de schoolleider zijn eigen vorming afstemt op de ontwikkelingen die hij in de teams en schoolbreed waarneemt. Op deze wijze kan de schoolleider zich erop toeleggen om in de teams de taalontwikkeling te ondersteunen, die helpt om onbestemde gevoelens van onvrede te benoemen en in een betekenisvolle samenhang te plaatsen, en ook om de inspiraties die onderwijzers aan hun werk ontlenu opnieuw te benoemen. Vanuit de teams kunnen de opbrengsten van dergelijke bezinningen ingebracht worden in een schoolbrede bezinning. Zodoende is het mede-eigenaarschap van deze inbreng bij voorbaat al gedeeltelijk gerealiseerd.

Procesmatig schoolbreed

Schoolleiders moeten first-, second- en third-loop leercycli ook begeleiden op schoolniveau. De principes daarachter zijn niet anders dan op teamniveau, maar de werkvormen zullen verschillen. Afhankelijk van allerlei omstandigheden en de schoolcultuur zal er ook op schoolniveau maatwerk van deze cycli gemaakt moeten worden. Daarbij zal steeds, maar vooral bij een 'third loop cyclus', die moet uitmonden in een herformulering van het vormingsbeleid of het pedagogisch kader voor de school als geheel, opnieuw de agogische kunst en kunde van schoolleiders nodig zijn om enerzijds ruimte te geven aan verschillen, en anderzijds te zoeken naar het verbindende. Maar, wanneer dit op teamniveau gelukt is, dan is er een goede kans dat dit schoolbreed ook lukt. De reden dat er hier primair aandacht is besteed aan het doorlopen van deze cycli op team-

niveau, inclusief de 'third loop cyclus', is opnieuw het belang van '*gedeeld eigenaarschap*' bij de leraren (pagina 286), zowel van de verbeteringen, als van de vernieuwingen, als van het herziene zingevende kader.

Inhoudelijk schoolbreed

Wanneer in een school de samenwerking van leraren op een teamstructuur gebaseerd is¹⁷³, dan is het de taak van de schoolleiding om zorg te dragen voor inhoudelijke integratie van alle suggesties, voorstellen, ideeën, ontwikkelingen en andere teamopbrengsten die voor de school als geheel relevant zijn. Onafhankelijk van de vraag of die opbrengsten van first-, second-, of third-loop cycli afkomstig zijn.

De third-loop opbrengsten nemen daarbij een bijzonder plaats in, omdat deze per definitie voor de school als geheel relevant zijn. Deze opbrengsten moeten fungeren als ingrediënten voor schoolbrede visie-ontwikkeling en ontwikkeling van schoolbreed pedagogisch beleid. Om de zorg voor inhoudelijk integratie op dit gebied goed te kunnen behartigen, is intensief contact tussen teams en schoolleiding essentieel¹⁷⁴.

Schoolleiders kunnen opnieuw zorgdragen voor het op peil houden van hun inhoudelijk toegevoegde waarde door werk te maken van hun eigen vorming. Zij kunnen zich daarbij toeleppen op het bijhouden en verbeteren van hun inzicht in grotere verbanden. Niet alleen de grotere verbanden van de maatschappelijke en culturele context van het onderwijs, maar ook de grotere verbanden van geschiedenis en toekomst. En dat niet als individualistische hobby, maar afgestemd op de ontwikkeling van hun school, zodat zij de schoolontwikkeling vanuit overzicht en vooruitziende blik kunnen begeleiden.

Individueel

Opnieuw zij volledigheidshalve vermeld dat schoolleiders uiteraard, bij verschillende gelegenheden (zoals individuele personeelsgesprekken), ook in één op één contacten zowel procesmatig als inhoudelijk kunnen ondersteunen dat leraren wiskunde geïnspireerd worden. Zij hebben daartoe in grote lijnen geen andere identiteitskenmerken nodig dan die welke hierboven al genoemd zijn.

2.c Identiteitskenmerken van schoolleiders

Nu hiermee een aantal antwoorden verkregen zijn op de hulpvraag hoe schoolleiders zich kunnen voorstellen dat leraren wiskunde de vorming van leerlingen ondersteunen,

¹⁷³ Zie voetnoot 166 op pagina 284.

¹⁷⁴ Het lijkt mij logisch dat in een grotere school ieder lid van de schoolleiding een aantal teams 'in portefeuille' heeft, en de ontwikkelingen in deze teams van dichtbij volgt, grotendeels door persoonlijke aanwezigheid en meedenken. In scholen met eenhoofdige leiding moet de schoolleider idealiter alle belangrijke teambijeenkomsten meemaken.

en dat zijzelf de vorming van deze leraren ondersteunen, is het moment gekomen om deze opbrengst te interpreteren in het licht van de vierde familiekwestie:

Welke aanwijzingen leveren deze antwoorden op, omtrent identiteitskenmerken die eraan kunnen bijdragen dat een schoolleider goed (en beter) functioneert als pedagogisch leider ten aanzien van het onderwijs in de wiskunde?

Hoe kunnen schoolleiders zich voorstellen dat leraren wiskunde (...)

Naar aanleiding van de antwoorden op het eerste deel van de hulpvraag (pagina 277-282), moet ik mij nu voorstellen welke identiteitskenmerken een schoolleider kunnen helpen, om te leren zich levensecht voor te stellen hoe leraren wiskunde de vorming van leerlingen kunnen ondersteunen. Kenmerken die dermate verankerd zijn in zijn persoon dat hij deze meeneemt naar elk activiteitssysteem waarin hij verkeert.

Voor mijn inventarisatie van deze kenmerken begin ik bij de in hoofdstuk 2 geformuleerde algemene aspecten van ondersteuning door leraren:

- Het tonen van op eigen vorming gebaseerde authenticiteit;
- het organiseren van wederzijdse ontmoetingen met leerlingen.

De levensechte voorstelling van deze aspecten van ondersteuning impliceert voor de schoolleider dat hij deze aspecten zelf ook moet praktiseren. Zoals al in hoofdstuk 2 beschreven werd impliceert dit, dat de schoolleider zich ervoor inzet om zelf ook aan leerlingen (en anderen) op eigen vorming gebaseerde authenticiteit te tonen, en zelf ook ontmoetingen met leerlingen te organiseren.

Wanneer de schoolleider zelf leraar wiskunde is geweest, en daarbij met hart en ziel zorgdroeg voor de 'pedagogische' dimensie daarvan, dan zal hij in eerste instantie weinig moeite hebben met de vervolg-antwoorden op deze hulpvraag. Het zal echter zijn valkuil zijn, dat hij zijn eigen vormgeving aan zijn pedagogische opdracht projecteert op collega's. Deze schoolleider zal het extra identiteitskenmerk nodig hebben, dat hij alert is op dergelijke projecties en zich belangstellend openstelt voor de andere creatieve vormgevingen die andere wiskunde-collega's in een andere tijd, met andere leerlingen, en onder andere omstandigheden kunnen ontwikkelen.

Wanneer de schoolleider zelf geen leraar wiskunde is geweest, dan zal hij wellicht meer moeite hebben met de eerste hulpvraag. Een belangrijk aanknopingspunt voor het vormen van levensechte voorstellingen lijkt mij dan te zijn, dat deze schoolleider de vreugden en de moeilijkheden van het 'met hart en ziel' ondersteunen van de vorming van jonge mensen op een ander gebied wél uit eigen ervaring kent¹⁷⁵. Dergelijke ervaringen geven deze schoolleider bovendien extra mogelijkheden om vanuit kritische distantie zich voorstellingen te maken van ondersteuning die een leraar wiskunde meestal niet

¹⁷⁵ Hierbij denk ik aan het fundamentele kenmerk van informatie, dat deze altijd moet kunnen aansluiten bij 'iets vertrouwd'. Zie bijvoorbeeld (Nauta, 1999, pp. 133-134).

(van)zelf bedenkt. Dergelijke ervaringen blijven echter, vanwege de onbekendheid met wiskunde-onderwijs, ook vragen om de alertheid voor projecties en om de open belangstelling die ik hiervoor al noemde.

De open belangstelling van schoolleiders kan op de proef gesteld worden. Bijvoorbeeld wanneer een leraar wiskunde de vorming van zijn leerlingen ondersteunt bij kritische reflectie op de schoolcultuur (pagina 280 e.v.), en die kritiek ook de rol van de schoolleiding raakt. Het is van belang dat een schoolleider zich realiseert dat ook de schoolcultuur als geheel een rol speelt in het ondersteunen van vorming, en dat daarom ook aan hem (door leerlingen of leraren) een kritische spiegel kan worden voorgehouden.

Voor het verder uitbreiden van zijn voorstellings-arsenaal van de ondersteuning van vorming door wiskunde leraren kan de schoolleider gebruik maken van drie verschillende soorten van bronnen:

1. Het opdoen van ruimere ervaring met ondersteuning van (brede) vorming. Bijvoorbeeld door van dichtbij de ondersteuning door andere leraren, van andere vakken, op andere scholen, en met andere leerlingen, mee te maken via samenwerking, observaties en verhalen.
2. Het uitvragen van de wiskunde- en andere leraren van zijn school (en eventueel ook andere personen, zoals oud-leerlingen) over hun vorming rond wiskunde en over de ondersteuning die zij daarbij van anderen kregen of juist node misten. Zoals beschreven kan hij daarmee twee doelen tegelijk dienen: hij kan hiermee de vorming van deze leraren als pedagogisch leider ondersteunen (pagina 283), en tegelijk zijn eigen voorstellings-arsenaal vergroten.
3. Door kennisname, via opleiding en literatuur, van wetenschapsfilosofie en -geschiedenis, cultuurfilosofie en -geschiedenis, et cetera, teneinde zich een beeld te vormen van de positieve en negatieve inspiraties, en de kansen op vorming, die wiskunde in principe te bieden heeft. Kortom, door zichzelf voorstellingen eigen te maken, zoals die welke in deze studie exemplarisch beschreven zijn.

Samenvattend: een schoolleider kan zijn voorstellings-arsenaal, van ondersteuning van vorming door wiskunde-onderwijs, uitbreiden door actief belangstellend kennis te nemen van kansen op vorming en ondersteuning daarvan, uit zoveel mogelijk bronnen van verschillende soort.

Hoe kunnen schoolleiders zich voorstellen dat zijzelf (...)

Voor mijn inventarisatie van kenmerken die uit de antwoorden op het tweede deel van de hulpvraag volgen (pagina 282-297) begin ik weer bij de in hoofdstuk 2 genoemde algemene ondersteuning door de schoolleider bij de vorming van leraren:

- Het tonen van op eigen vorming gebaseerde authenticiteit;
- het organiseren van wederzijdse ontmoetingen tussen en met leraren.

De voorstelling van deze aspecten van ondersteuning impliceert het identiteitskenmerk, dat de schoolleider het belang van deze aspecten diep beseft, en zich er daarom ook op toelegt deze aspecten zo goed mogelijk te praktiseren. Zijn 'diepe besef' impliceert dat de schoolleider onderkent dat zijn praktisering van deze aspecten een meer-voudig belang dient: niet alleen het belang van zijn functioneren als pedagogisch leider van leraren, maar ook het belang dat hij, als 'het gezicht van de school', waarden zoals 'authenticiteit' en 'ontmoeting' moet vertegenwoordigen voor allen die bij de school betrokken zijn.

Met betrekking tot de specifieke ondersteuning van leraren wiskunde vormde team-coaching¹⁷⁶ een belangrijk onderdeel. Deze vorm van ondersteuning vereist in de eerste plaats het identiteitskenmerk dat de schoolleider zowel het belang beseft van het functioneren van vitale teams in de school, als van coaching, en zich er 'met hart en ziel' op toelegt om via zijn coachingsrol bij te dragen aan de optimale ontwikkeling van teams, met name als 'broedplaatsen' voor pedagogisch leiderschap. Aan dit identiteitskenmerk kunnen verschillende aspecten onderscheiden worden:

- De schoolleider is in staat om als mede-teamlid, afhankelijk van de situatie, procesmatige coaching (leiderschap) in te zetten om bezinningen over vorming van leerlingen, en over ondersteuning daarbij, zorgvuldig, gefaseerd en gedisciplineerd vorm te geven¹⁷⁷.
- De schoolleider is in staat om als mede-teamlid, op welgekozen momenten, procesmatige coaching (leiderschap) in te zetten om vorm te geven aan zorgvuldige bezinning op verbetering van ondersteuning (first loop), op vernieuwing van ondersteuning (second loop), en op zingevende kwaliteit¹⁷⁸ van ondersteuning (third loop).
- De schoolleider is in staat om, vanuit zijn schoolleiderspositie, in het team mee te denken over verbeteringen van voorwaarden en voorzieningen in de schoolorgani-

¹⁷⁶ De term 'coaching' wordt hier gebruikt om een vorm van 'leiderschap' mee aan te geven die zo zuiver mogelijk dienstbaar en ondersteunend is. In dit verband is 'teamcoaching' een verkorte formulering van 'pedagogisch leiderschap ten aanzien van lerarenteams'. Voor een schoolleider kan het een lastige opgave zijn om duidelijk te maken en te houden dat hij in een bepaalde situatie een coachende rol vervult, omdat hij in andere situaties ook andere leiderschapsrollen vervult, die bijvoorbeeld een eisend of grenzen stellend karakter hebben.

¹⁷⁷ Hierbij zij verwezen naar de notie van '*distributed leadership*' die vooral dankzij Spillane (2006) bekendheid heeft gekregen. Een belangrijk aspect van deze notie is dat leiderschaps- en volgerschapsrollen voor een belangrijk deel niet vast gekoppeld zijn aan formele posities maar, afhankelijk van omstandigheden en van persoonlijke kwaliteiten, van situatie tot situatie door wisselende teamleden informeel vervuld kunnen worden. Zie ook (Snoek, 2014, p. 20).

¹⁷⁸ Met de uitdrukking 'zingevende kwaliteit' is in dit geval bedoeld: de mate waarin ondersteuning van vorming zingevende ervaringen oplevert. In eerdere publicaties heb ik dit concept nader uitgewerkt (1996, 1998, 2000, 2009).

satie en in de schoolcultuur, die het realiseren van plannen en suggesties van het team kunnen ondersteunen.

- De schoolleider is in staat om als mede-teamlid, op welgekozen momenten, zijn brede vorming op de gebieden van wetenschaps- en cultuurgeschiedenis, wetenschaps- en cultuurfilosofie, wijsgerige pedagogie, et cetera, in te zetten ten behoeve van inhoudelijke coaching (leiderschap) bij de hierboven genoemde bezinningen. Daarbij zet de schoolleider zich er met name ook voor in om inhoudelijke bijdragen te geven die relevant zijn voor onderwijs in wiskunde en informatica.

Met betrekking tot de specifieke ondersteuning van wiskunde leraren vormde het zorgdragen voor integratie van alle teambijdragen (waaronder met name de vaksectie wiskunde en informatica) op schoolniveau ook een belangrijk onderdeel. Deze vorm van ondersteuning vereist in de eerste plaats het identiteitskenmerk, dat de schoolleider sterk doordrongen is van het belang dát die integratie plaats vindt, daar persoonlijk verantwoordelijkheid voor neemt, en in staat is om passende leiding te geven aan het integratieproces. Ook dit leiding geven op schoolniveau heeft zowel een procesmatige als een inhoudelijke dimensie.

De procesmatige dimensie van dit leiderschap vereist dat de schoolleider helder beseft dat het effectief ondersteunen van de vorming van leerlingen door leraren alleen mogelijk is wanneer de leraren daartoe intrinsiek gemotiveerd zijn en er zelf verantwoordelijkheid voor nemen, dat wil zeggen: zelf eigenaar zijn van deze opdracht. Vanuit dit besef moet de schoolleider in staat zijn om er, bij het integratieproces tot schoolbreed vormingsbeleid, zorg voor te dragen dat dit eigenaarschap behouden blijft, ook al wordt het met anderen gedeeld (1). Dit impliceert dat de schoolleider de kunde en de kunst verstaat om in één proces, zowel een zo breed mogelijk scala aan verschillen tot bloei te laten komen, als volhardend te zoeken naar 'het verbindende' (2). Het eigenaarschap van de schoolleider is vooral verbonden met deze tweevoudige kwaliteit van dit integratieproces. Maar, omdat de principes (1) en (2) ook al golden op teamniveau mag verwacht worden dat vele teamleden ook mede-eigenaar willen zijn van de zorg voor de kwaliteit van het schoolbrede integratieproces.

De inhoudelijke dimensie van het leiderschap op schoolniveau impliceert dat de schoolleider zich er verantwoordelijk voor voelt dát er een inhoudelijk integrerend kader komt. Op grond van kennisname van alle inhoudelijke inbrengen, met name ook vanuit de sectie wiskunde en informatica, en op grond van zijn eigen inhoudelijke bagage is de schoolleider in staat om een creatief voorstel tot inhoudelijke integratie te ontwikkelen. Uiteraard zal een integratie-voorstel vanuit de schoolleiding discussie uitlokken, en zal de schoolleiding deze discussie verwelkomen en begeleiden, omdat deze noodzakelijk is voor toe-eigening en mede-eigenaarschap.

Tenslotte noem ik hier het algemene kenmerk, dat de schoolleider zodanig richting geeft aan zijn eigen vorming, dat hij de bepaling van zijn eigen zone van naaste ontwikkeling steeds op tijd probeert af te stemmen op de zones van naaste ontwikkeling die hij voor-

ziet bij de leraren en de teams (o.a. leraren wiskunde en -teams) die hij begeleidt, en op de zone van naaste ontwikkeling die hij voorziet bij de school als geheel. Op die wijze probeert hij zijn vermogen te behouden om leraren, teams en school te blijven ondersteunen bij hun verdere vorming in pedagogisch leiderschap.

Samenvatting

Als identiteitskenmerken, die eraan kunnen bijdragen dat een schoolleider goed (en beter) functioneert als pedagogisch leider ten aanzien van het onderwijs in de wiskunde, kunnen genoemd worden:

Dat de schoolleider

1. zelf ervaring heeft opgedaan in het 'met hart en ziel' ondersteunen van vorming van jonge mensen;
2. ook alert is op de valkuil van projectie, en met belangstelling openstaat voor de andere creatieve vormgevingen aan ondersteuning, die de leraren wiskunde van zijn school ontwikkelen;
3. intrinsiek¹⁷⁹ gemotiveerd en in staat is om zijn voorstellings-arsenaal van de ondersteuning van vorming door leraren wiskunde uit te breiden door gebruik te maken van zoveel mogelijk bronnen van verschillende soort;
4. intrinsiek gemotiveerd en in staat is om authenticiteit te tonen en ontmoetingen te organiseren omdat hij beseft dat dit algemene kenmerken van ondersteuning zijn, die zowel gelden voor de vorming van leerlingen, als voor de vorming van leraren; en die hij als het 'gezicht van de school' moet uitdragen als essentiële waarden in de schoolcultuur;
5. intrinsiek gemotiveerd en in staat is om via coaching van een vaksectie wiskunde en een vakoverstijgend kernteam, zowel procesmatig als inhoudelijk bij te dragen aan de kwaliteit van teambezinning op:
 - + eerste mogelijkheden voor ondersteuning van vorming van leerlingen,
 - + verbetering van ondersteuning,
 - + vernieuwing van ondersteuning,
 - + zingevende kwaliteit van ondersteuning;
6. intrinsiek gemotiveerd is om vanuit zijn schoolleiderspositie, met een vaksectie wiskunde of vakoverstijgend team mee te denken over verbeteringen van voorwaarden en voorzieningen, die het realiseren van plannen en suggesties van het team kunnen ondersteunen;

¹⁷⁹ Met 'intrinsieke motivatie' is in dit verband bedoeld dat de schoolleider *in hoofdzaak* voor het genoemde handelen gemotiveerd is op grond van eigen reflectie op eigen zingevende ervaringen, en niet hoofdzakelijk omdat anderen het genoemde handelen belangrijk vinden, opdragen of belonen ('extrinsieke motivatie'). Omdat dergelijke 'intrinsieke motivatie' (mede) vrucht is van eigen vorming zal de schoolleider op authentieke wijze vormgeven aan het genoemde handelen.

7. zich realiseert dat ook de schoolcultuur als geheel een rol speelt in het ondersteunen van vorming, en daarom openstaat voor kritiek op schoolcultuur en schoolbeleid, ook wanneer deze kritiek zijn eigen rol betreft;
8. doordrongen is van het belang van integratie van alle teambijdragen tot een vormingsbeleid van de school als geheel; bereid en in staat is om leiding te geven aan die integratie; en in staat is een belangrijke bijdrage te geven aan de procesmatige en inhoudelijke kwaliteit van die integratie;
9. intrinsiek gemotiveerd is om zodanig richting te geven aan zijn eigen vorming, dat hij de bepaling van zijn eigen zone van naaste ontwikkeling steeds op tijd afstemt op de zones van naaste ontwikkeling die hij voorziet bij de leraren en de teams die hij begeleidt (o.a. leraren wiskunde en -teams), en bij de ontwikkeling van de school als geheel.

3 ONDERZOEK

Als derde in de rij is nu de laatste hulpvraag (pagina 251) aan de orde:

Kan men toetsend onderzoek inzetten ter verbetering van de ondersteuning van vorming op school, en zo ja, aan welke eisen moet zulk onderzoek voldoen?

Aan de beantwoording van deze vraag is in hoofdstuk 9 al een hele paragraaf (§ 3) besteed. Daarom kan ik hier aansluiten bij de conclusie die in deze paragraaf werd bereikt (pagina 250):

Ja, sommige generieke aspecten van die samenhang kunnen beschouwd worden als wiskundig onderzoekbaar. En, wanneer wiskunde zich als gelijkwaardige partner opstelt en ruimte voor andere benaderingen open laat, dan kunnen haar onderzoeksresultaten bijdragen aan inzicht, en aan de kwaliteit van de ondersteuning.

Bij deze conclusie moet aangetekend worden dat de 'andere benaderingen' in het voorafgaande betoog gekarakteriseerd werden als benaderingen die uitgaan van een kennis-interesse die tegengesteld is aan de wiskundige kennis-interesse. Een kennis-interesse, "die inhoudt dat kennis van unieke kenmerken de hoofdzaak is, en dat generieke kenmerken of concepten slechts van belang zijn voor zover zij nuttig zijn om de hoofdzaak te dienen" (pagina 243).

Op grond hiervan kan nu direct de stap gezet worden naar interpretatie van deze conclusie in het licht van de vierde familiekwestie (pagina 297): *Welke aanwijzingen leveren dit antwoord op, omtrent identiteitskenmerken die eraan kunnen bijdragen dat een schoolleider goed (en beter) functioneert als pedagogisch leider ten aanzien van het onderwijs in de wiskunde?*

Uit de hierboven geciteerde conclusie is af te leiden dat het in de eerste plaats van belang is dat een schoolleider beseft, dat onderzoek vanuit een kennisinteresse die aan

de wiskundige tegengesteld is, vanwege 'de aard der zaak', *vereist is* bij onderzoek naar de samenhang tussen ondersteuning en vorming. Dit besef sluit zeker niet uit dat een wiskundige of kwantitatieve onderzoeksmethode een zinvolle bijdrage kan geven, maar slechts onder de conditie dat deze ruimte maakt voor, en aangevuld wordt door, een radicaal andere onderzoeksbenadering.

In het algemeen kan gesteld worden dat de aandacht die aan de derde familiekwestie wordt besteed berust op de vooronderstelling, dat passend onderzoek een belangrijke bijdrage kan geven aan verbetering van de ondersteuning van vorming.

Wanneer ik deze interpretatie nu formuleer in de vorm waarin ook de opbrengsten van de andere hulpvragen geformuleerd werden (pagina's 276 en 302), dan kom ik tot het volgende.

Als identiteitskenmerken, die eraan kunnen bijdragen dat een schoolleider goed (en beter) functioneert als pedagogisch leider ten aanzien van het onderwijs in de wiskunde, kunnen genoemd worden:

Dat de schoolleider

1. beseft dat passend onderzoek een belangrijke bijdrage kan geven aan verbetering van de ondersteuning van vorming;
2. daarbij ook beseft dat de bijzondere aard van de samenhang tussen ondersteuning en vorming een onderzoeksbenadering vereist die in zekere zin tegengesteld is aan de wiskundige benadering, zonder uit te sluiten dat wiskundig onderzoek een zinvolle aanvulling kan zijn op de eerstgenoemde 'teggengestelde' benadering.

4 OPBRENGST

Aan het eind van dit hoofdstuk en dit deel is nu het moment gekomen om de gehele opbrengst, in het licht van de hoofdvraag voor dit deel, op een rij te zetten:

Als identiteitskenmerken, die eraan kunnen bijdragen dat een schoolleider goed (en beter) functioneert als pedagogisch leider ten aanzien van het onderwijs in de wiskunde, kunnen genoemd worden:

Dat de schoolleider

1. intrinsiek gemotiveerd en in staat is om authenticiteit te tonen en ontmoetingen te organiseren omdat hij beseft dat dit algemene kenmerken van ondersteuning zijn, die zowel gelden voor de vorming van leerlingen, als voor de vorming van leraren; en die hij als het 'gezicht van de school' moet uitdragen als essentiële waarden in de schoolcultuur;
2. zelf ervaring heeft opgedaan in het 'met hart en ziel' ondersteunen van vorming van jonge mensen;

3. ook alert is op de valkuil van projectie, en met belangstelling openstaat voor de andere creatieve vormgevingen aan ondersteuning, die de leraren wiskunde van zijn school ontwikkelen;
4. zich kan voorstellen, en ook kan waarderen,
 - + dát wiskunde voor mensen, en dus ook voor leerlingen, positief- en negatief inspirerende ervaringen kan opleveren, en ook globaal weet
 - + welke ervaringen dat zijn, en welk vormgeverschap wiskunde-onderwijs bij leerlingen in principe kan stimuleren;
5. een gefundeerd beeld heeft van de sterke kanten, beperkingen, verleidingen en risico's van de wiskundige 'bril';
6. intrinsiek gemotiveerd en in staat is om zijn voorstellings-arsenaal van de ondersteuning van vorming door leraren wiskunde uit te breiden door gebruik te maken van zoveel mogelijk bronnen van verschillende soort;
7. intrinsiek gemotiveerd en in staat is om via coaching van een vaksectie wiskunde en een vakoverstijgend kernteam, zowel procesmatig als inhoudelijk bij te dragen aan de kwaliteit van teambezinning op:
 - + eerste mogelijkheden voor ondersteuning van vorming van leerlingen,
 - + verbetering van ondersteuning,
 - + vernieuwing van ondersteuning,
 - + zingevende kwaliteit van ondersteuning;
8. beseft dat passend onderzoek een belangrijke bijdrage kan geven aan verbetering van de ondersteuning van vorming;
9. daarbij ook beseft dat de bijzondere aard van de samenhang tussen ondersteuning en vorming een onderzoeksbenadering vereist die in zekere zin tegengesteld is aan de wiskundige benadering, zonder uit te sluiten dat wiskundig onderzoek een zinvolle aanvulling kan zijn op de eerstgenoemde 'teggestelde' benadering;
10. intrinsiek gemotiveerd is om vanuit zijn schoolleiderspositie, met een vaksectie wiskunde of vakoverstijgend team mee te denken over verbeteringen van voorwaarden en voorzieningen, die het realiseren van plannen en suggesties van het team kunnen ondersteunen;
11. zich realiseert dat ook de schoolcultuur als geheel een rol speelt in het ondersteunen van vorming, en daarom openstaat voor kritiek op schoolcultuur en schoolbeleid, ook wanneer deze kritiek zijn eigen rol betreft;
12. doordrongen is van het belang van integratie van alle teambijdragen tot een vormingsbeleid van de school als geheel; bereid en in staat is om leiding te geven aan die integratie; en in staat is een belangrijke bijdrage te geven aan de procesmatige en inhoudelijke kwaliteit van die integratie;
13. intrinsiek gemotiveerd is om tegenwicht te bieden tegen verkokering en eilandvorming tussen schoolvakken, en daarom gemotiveerd en in staat is om in de school de samenwerking aan brede vorming ('Bildung') tussen wiskunde en andere disciplines te stimuleren en te ondersteunen;

14. intrinsiek gemotiveerd en in staat is om leiding te geven aan de ontwikkeling van een omringende 'schoolorganisatie', vooral met betrekking tot het gebruik van vruchten van de wiskundige discipline daarbinnen, die in overeenstemming is met de principes van vorming-ondersteunend onderwijs;
15. intrinsiek gemotiveerd en in staat is om in het schoolteam leiding te geven aan visie-ontwikkeling, op de verbetering en vernieuwing van de vorming-ondersteunende kwaliteit voor leerlingen, die voor de wiskundige cultuurbijdrage een zingevend kader schept, en waarmee de schoolgemeenschap laat zien dat ook zij niet alleen schepsel maar ook schepper is van cultuur;
16. intrinsiek gemotiveerd is om zodanig richting te geven aan zijn eigen vorming, dat hij de bepaling van zijn eigen zone van naaste ontwikkeling steeds op tijd afstemt op de zones van naaste ontwikkeling die hij voorziet bij de leraren en de teams die hij begeleidt (o.a. leraren wiskunde en -teams), en bij de ontwikkeling van de school als geheel.

Deze opbrengst overziende ligt de vraag voor de hand, of het niet teveel gevraagd is om van een schoolleider te verwachten dat hij al deze identiteitskenmerken 'in zijn bagage heeft'. Op deze vraag kan met verschillende opmerkingen gereageerd worden:

- Niet alles hoeft tegelijk. Een individuele schoolleider kan voor zichzelf nagaan welke kenmerken hij al voldoende bezit, en op welk ontbrekend kenmerk hij zijn verdere vorming als eerste wil richten.
- Men kan zich ook voorstellen dat een opleiding van schoolleiders zich profileert door aan bepaalde kenmerken uit dit rijtje prioriteit te geven, en bovendien per individuele deelnemer een nadere prioriteit te bepalen.
- Wanneer er in grotere scholen sprake is van een team van schoolleiders, dan kunnen de verschillende schoolleiders binnen dit team elkaars kwaliteiten onderling aanvullen.
- Wanneer de leraren van een school over een aantal van de bovengenoemde kenmerken beschikken, en wanneer de schoolcultuur openstaat voor flexibel en informeel leiderschap (distributed leadership), dan kunnen ook leraren een aantal van de leiderschapsfuncties vervullen (procesmatig of inhoudelijk) die in dit hoofdstuk beschreven zijn, en kunnen zij het leiderschap van schoolleiders aanvullen.
- Mijn betoog leidde bovendien tot de conclusie, dat het realiseren van kansen op vorming in het wiskunde onderwijs primair behoort tot de professionele verantwoordelijkheid van de leraren wiskunde (pagina 274 e.v.). Daarom is het wenselijk dat een deel van de hier genoemde identiteitskenmerken ook tot de bagage van deze leraren behoort. Wanneer het verwerven van die wenselijke bagage tijdens een leraarsloopbaan schoolintern plaats zou moeten vinden, dan vraagt dit veel interne scholing, en dus ook veel tijd en energie van de schoolleiding en de school als geheel. Het betekent een substantiële ontlasting van schoolleiding en schoolontwikkeling wanneer ook lerarenopleidingen (initieel en post-initieel) zich richten op het verwerven van identiteitskenmerken die bijdragen aan pedagogisch leiderschap. Om

deze reden zal in deel IV (hfdstk 18, § 2) ook aandacht besteed worden aan lerarenopleidingen.

DEEL III

Fysische wetenschap en Vorming

Inhoudsopgave

Inleiding	317
Mechanisme	319
Hoofdstuk 11 Onderzoek en gevolglichheid	321
1 Modelvorming	322
1.a Oude en nieuwe kenmerken	323
1.b Modellen en metaforen	328
2 Observeren en experimenteren	330
2.a Herhaalbaarheid	330
2.b Relevantie en bruikbaarheid	334
3 Twee soorten van gevolglichheid	337
Hoofdstuk 12 Eerste historische gevolgen	345
1 Generalisering van het concept 'mechanisme'	346
2 Zuiver objectieve observatie	348
2.a Primaire en secundaire kenmerken	348
3 Substantie tegenover substantie	351
3.a Gesanctioneerd atomisme	352
3.b Geloof in het zuivere buitenstandpunt	352
4 Volledig determinisme	353
5 Kans-determinisme	355
5.a Blijvende voorspelbaarheid	356
5.b Blijvende principes van modelvorming	357
5.c Moeite met kansen	357
5.d Tijdsconcept	358
5.e Blijvende onzekerheid	362
5.f Samenvatting van de veranderingen	364
5.g Acceptatie als 'bekering'	365
5.h Gevolgen voor het wereldbeeld	367
6 Blijvende gevolgen	369
6.a Blijvend geloof in de basics	369
6.b Geloof in de functieloze en betekenisloze natuur	371
6.c Dualisme en technologie	374
6.d Cultuur tegenover natuur	378
6.e Speelruimte voor vrijheid?	380
Hoofdstuk 13 Latere ontwikkelingen en discussies	383
1 Relativiteitstheorie	384
1.a Aanleidingen	385

1.b	Het postulaat	386
1.c	Speciale relativiteitstheorie	388
1.d	Algemene relativiteitstheorie	389
	<i>Ruimtetijd</i>	390
	<i>Afschaffing van 'kracht-op-afstand'</i>	392
1.e	Consequenties voor het natuurbeeld	396
	<i>Van buitenstandpunt naar binnenstandpunt</i>	396
	<i>Is alles relatief?</i>	397
	<i>Abstracte objectiviteit</i>	398
	<i>Verbeterde onwetendheid</i>	400
	<i>Gehandhaafde mechanica</i>	404
	<i>Conclusies</i>	405
2	Kwantummechanica	408
2.a	Complementariteit	408
	<i>Golven toch als deeltjes</i>	408
	<i>Deeltjes ook als golven</i>	410
	<i>De onzekerheidsrelatie</i>	413
	<i>Samenvatting</i>	415
2.b	Kwantumtoeval	416
	<i>De raadselachtige betekenissen van Ψ en Ψ^2</i>	416
	<i>Kwantumtoeval als stochastisch toeval</i>	420
	<i>Kwantumtoeval en chaotisch toeval</i>	421
2.c	Problematische objectiviteit	424
2.d	Kopenhaagse interpretatie	427
	<i>Objectiviteit opgegeven</i>	428
	<i>Objectiviteit gehandhaafd</i>	429
	<i>Finkelburg</i>	432
	<i>Wigner</i>	432
	<i>Verbeterde onwetendheid</i>	434
2.e	Sizoo	436
	<i>Onmisbare subjectiviteit</i>	437
	<i>Kritiek op essentialisme</i>	438
	<i>Verbeterde onwetendheid (deel 1)</i>	440
	<i>Kritiek op subjectivisme</i>	441
	<i>Verbeterde onwetendheid (deel 2)</i>	443
	<i>Te verbeteren onwetendheid</i>	447
2.f	Gehandhaafde mechanica?	448
	<i>Modelvorming van een QsOs</i>	448
	<i>Modelvorming van een Qs</i>	452
	<i>De redding van mechanica</i>	453
3	Standaardmodel	454

3.a	Handhaving van relativiteitstheorie en kwantummechanica	454
3.b	Ordering en overzicht	456
3.c	Krachten	461
3.d	Bereik en beperkingen	465
4	Gehandhaafde mechanica	465
Hoofdstuk 14	Fysica en waarheid	469
1	Met leerlingen filosoferen over natuurkunde	470
2	Toulmin: het model als kaart	472
3	Wittgenstein: het model als taalspel	476
4	Reactie op de eerste leerlingvraag	477
5	Polanyi: artefacten als interfaces	481
5.a	Waarnemen, kennis en vaardigheid	482
	<i>Richtlijnen</i>	482
	<i>Kennis</i>	484
	<i>Vaardigheid</i>	486
	<i>Waarheid</i>	487
	<i>Betekenis en invariantie</i>	488
	<i>De 'hoofdwet' van Polanyi</i>	489
5.b	Instrumenten als interfaces	490
	<i>Brein-machine-interfaces</i>	491
	<i>Intieme technologie</i>	492
	<i>Implicaties</i>	493
5.c	Taal als interface	494
6	Winst bij gebruik van taal als interface	496
6.a	Eerste winst	496
6.b	Twee dimensies van taal	498
6.c	Winst (en behoud) bij bespreken en beschrijven	499
	<i>Werkelijkheid en fictie</i>	501
	<i>Fysische modellen als interfaces</i>	504
	<i>Fysische kennis blijft antropocentrisch</i>	506
6.d	Winst bij dialoog	507
7	Eerste reactie op de tweede leerlingvraag	509
Hoofdstuk 15	Fysica, zingevende ervaringen, vorming	513
1	Positief inspirerende ervaringen	514
1.a	Fysisch inzicht en toetsingsethiek	514
1.b	Competentie en macht, bereik en beperking	518
2	Drie dimensies van vorming	520
2.a	Zingevend genieten en spelen	521
2.b	Zingevende ethische onderbreking	532

2.c	Verschil en samenhang; wonen in het andere	537
2.d	Evaluatie	546
	<i>Een derde dimensie?</i>	547
	<i>Het mensbeeld</i>	548
2.e	Zingevende dankbaarheid	551
	<i>Nuttige en zingevende dankbaarheid</i>	551
	<i>Waar wij dankbaar voor kunnen zijn</i>	552
	<i>Kenmerken</i>	553
	<i>Grondslag</i>	553
	<i>De rol van godsdienst</i>	554
	<i>De drie dimensies</i>	555
2.f	De destructieve terugslag voorkomen	556
3	Positief inspirerende ervaringen (vervolg)	559
3.a	Creatieve geschoolde intuïtie	559
3.b	Het collectieve bouwwerk	560
3.c	Samenwerking van techniek en wetenschap	560
3.d	Helpen en geholpen worden; speelse vormen van strijd	561
4	Van negatieve naar inspirerende ervaringen	563
4.a	Intuïtie als inspirerend tegenwicht	563
4.b	De boedelscheiding van verantwoordelijkheid opheffen	563
4.c	Fragmentatie en verkokering opheffen	564
4.d	Irreële mythen ontmaskeren	565
4.e	Inspirerend leren van geschiedenis	565
5	Vervolgreacties op de tweede leerlingvraag	566
5.a	Passie voor fysica	566
5.b	Van hoogmoedig naar bescheiden mensbeeld	567
5.c	Macht, geld, en inspirerende verantwoordelijkheid	570
5.d	Dankbaarheid	571
Hoofdstuk 16 Drie familiekwesities		573
1	Positie te midden van de familie	574
1.a	Identiteit	574
1.b	Erfenis en nieuwe concepten	575
1.c	Eisen aan waarnemingen en observeerbare objecten	577
1.d	Concentratie op mechanismen	578
1.e	(Zelf)overschatting, verabsolutering, exclusivisme	579
1.f	Acceptatie van toeval	583
1.g	Blijvend geloof	585
1.h	Abstracte objectiviteit	587
1.i	Relatieve objectiviteit	591
1.j	Samenvatting	598
	<i>Sterke kanten:</i>	598

	<i>Beperkingen:</i>	599
	<i>Interacties met mens- en wereldbeelden:</i>	600
	1.k Familie-verhoudingen	602
2	Eisen aan de werkwijze	603
3	Is de samenhang tussen ondersteuning en vorming onderzoekbaar?	604
Hoofdstuk 17	De vierde familiekwestie: identiteitskenmerken	607
1	Kansen op vorming	608
	1.a Opbrengst deel II	608
	1.b Aanvullingen binnen eerder genoemde identiteitskenmerken	609
	1.c Aanvulling met nieuwe identiteitskenmerken	615
	1.d Opbrengst delen II en III	616
2	Ondersteuning van vorming	617
	2.a Opbrengst deel II	617
	2.b Aanvullingen binnen eerder genoemde identiteitskenmerken	618
	2.c Aanvulling met nieuwe identiteitskenmerken	620
	<i>Filosoferen als eerstelijns-ondersteuning van vorming</i>	620
	<i>Filosoferen als tweedelijns-ondersteuning van vorming</i>	623
	<i>Aanvullend identiteitskenmerk</i>	627
	2.d Opbrengst delen II en III	628
3	Onderzoek	629
	3.a Het gevolglichheidsprobleem	630
	3.b Opbrengst deel II	630
	<i>Achtergrond</i>	631
	3.c Derde hulpvraag	632
	<i>Aangevulde achtergrond</i>	632
	<i>Bestaande praktijk als uitgangspunt</i>	634
	<i>1. Beeld van gevolglichheid</i>	641
	<i>2. Kanaliseren en toetsen</i>	643
	<i>3. Positionering</i>	655
	<i>4. Eisen</i>	657
	<i>Conclusies</i>	659
	3.d Opbrengst delen II en III	660
4	Samenvatting opbrengst	661

Inleiding

De globale probleemstelling die voor dit deel als richtlijn geldt, is opnieuw de eerste deelvraag die in hoofdstuk 2 (aan het einde van § 1) geformuleerd werd. Wanneer ik die deelvraag nu specificer voor het thema van dit deel (Fysische wetenschap en Vorming) dan luidt deze:

Welke identiteitskenmerken kunnen er aan bijdragen dat een schoolleider in zijn school goed (en beter) functioneert als pedagogisch leider, ten aanzien van het onderwijs in natuurkunde en scheikunde?

De globale aanpak die in dit deel gevolgd zal worden om tot antwoorden op bovenstaande vraagstelling te komen werd in de inleiding van hoofdstuk 3 geformuleerd in de vorm van een taakstelling, die ik nu eveneens specificer voor het thema van dit deel. Deze gespecificeerde taakstelling luidt nu:

Het ondernemen van een verkennend onderzoek, dat via de omweg van reflectie op fysische wetenschap uitkomt bij het vormingspotentieel van natuur- en scheikunde als schoolvakken, en uitkomt bij de identiteitskenmerken van schoolleiders, die van belang zijn om te ondersteunen dat dit vormingspotentieel zich realiseert.

De term '*fysische wetenschap*' in de titel van dit deel, en in de bovengenoemde taakstelling, zal gebruikt worden als verzamelnaam voor natuurkunde en scheikunde. Daarnaast zal de term '*fysica*' regelmatig, als pars pro toto, gebruikt worden voor 'fysische wetenschap'. De overeenkomst, die deze terminologie rechtvaardigt, is de gemeenschappelijke inperking binnen schei- en natuurkunde van alle tijdsafhankelijke onderzoeks-objecten tot '*mechanismen*' (zie volgende pagina). Een belangrijke reden voor het samenbrengen van deze twee disciplines op één noemer is de aanname, dat deze gemeenschappelijke inperking met zich meebrengt dat het vormingspotentieel van deze beide disciplines in hoofdzaak gelijk is. Aangezien mijn expertise in hoofdzaak op het natuurkundige gebied ligt zullen vele voorbeelden, die gebruikt worden om het vormingspotentieel van fysische wetenschap aan het licht te brengen, aan de natuurkunde ontleend worden. Daarnaast zal ik onvermijdelijk ook in het natuurkundige domein eclecticisch te werk moeten gaan. De achterliggende aanname is dus, dat het uiteindelijk ontdekte vormingspotentieel als pars pro toto kan gelden voor het geheel van de fysische wetenschappen.

Opnieuw zij herinnerd aan de drie redenen voor het maken van de omweg via wetenschap naar schoolvakken:

- Wanneer onderwijs opgevat wordt als inleiding in cultuur, dan is het van belang om zich te verdiepen in de culturele betekenis van de disciplines waarin de schoolvakken leerlingen inleiden.

- Uit een verkenning van het vormingspotentieel van exacte wetenschappen, als culturele disciplines, kan afgeleid worden wat daarvan in de context van het onderwijs in schoolvakken aan bod kan komen.
- Aan een verkenning van de sterke kanten en beperkingen van exacte wetenschappen kunnen aanwijzingen ontleend worden voor de onderzoekbaarheid van de samenhang tussen ondersteuning en vorming in het onderwijs.

Zoals aangekondigd in deel I (hoofdstuk 2, § 5.a) zullen de volgende vragen als richtlijn fungeren voor het oogsten van de opbrengst van dit deel in de hoofdstukken 16 en 17:

1. *Welke sterke kanten en beperkingen, en welke interacties met mens- en wereldbeelden, karakteriseren dit familielid, fysische wetenschap, te midden van de familie als geheel?*
2. *Stelt dit familielid specifieke eisen aan de werkwijze bij onderzoek?*
3. *Kan de samenhang tussen 'ondersteuning' en 'vorming' volgens dit familielid beschouwd worden als een modus van onderzoekbare gevolgblijkheid?*
4. *Welke aanwijzingen levert het in dit deel beschreven verkennende onderzoek naar dit familielid op, omtrent identiteitskenmerken die eraan kunnen bijdragen dat een schoolleider goed (en beter) functioneert als pedagogisch leider ten aanzien van het onderwijs in scheikunde en natuurkunde?*

Deze vierde vraag wordt beantwoord aan de hand van drie hulpvragen:

- a. Welke kansen op vorming hebben de schoolvakken scheikunde en natuurkunde in principe te bieden?
- b. Hoe kunnen schoolleiders zich voorstellen dat leraren schei- en natuurkunde de vorming van leerlingen ondersteunen, en dat zijzelf de vorming van deze leraren ondersteunen?
- c. Kan men toetsend onderzoek inzetten ter verbetering van de ondersteuning van vorming op school, en zo ja, aan welke eisen moet zulk onderzoek voldoen?

De hoofdstukken 11 t/m 13 bevatten het verkennende onderzoek naar de ontwikkeling van fysische wetenschap. In hoofdstuk 14 wordt deze verkenning aangevuld met een filosofische reflectie, die als doel heeft om fysische kennis te positioneren in relatie tot mens-, natuur- en wereldbeeld. In hoofdstuk 15 wordt deze verkenning verder aangevuld met een filosofische vervolgrelectie op vorming, met het doel om licht te werpen op een vraagstuk dat 'vorming' in relatie tot fysische wetenschap blijkt op te roepen. In hoofdstuk 16 zullen vervolgens de eerste drie richtvragen ('familiekwesties') beantwoord worden.

In hoofdstuk 17 zal tenslotte de vierde richtvraag ('familiekwestie') beantwoord worden aan de hand van de bovengenoemde drie hulpvragen. Daarbij zal gebruik gemaakt worden van de omstandigheid dat de beantwoording van deze vragen in deel II (voor het onderwijs in de wiskunde en informatica) tot opbrengsten heeft geleid die deels ook van toepassing zijn op onderwijs in natuur- en scheikunde. Bovendien vereist de eerste deelvraag voor het onderzoek als geheel (hoofdstuk 2, einde § 1) dat de opbrengsten van de

delen II en III samengevoegd worden tot één geheel. Om die reden zullen in hoofdstuk 17 de opbrengsten van de delen II en III tot één geheel geïntegreerd worden, in antwoord op de vierde richtvraag voor het onderzoek als geheel (zie hoofdstuk 2, § 5.a):

Welke aanwijzingen levert het verkennende onderzoek naar de familieleden wiskunde en fysische wetenschap op, omtrent identiteitskenmerken die eraan kunnen bijdragen dat een schoolleider goed (en beter) functioneert als pedagogisch leider ten aanzien van het onderwijs in de exacte schoolvakken?

Met deze beantwoording zal dan tegelijk de eerste deelvraag voor het onderzoek als geheel beantwoord zijn. De deelvraag, die in hoofdstuk 2 (einde § 1), geformuleerd werd als:

Welke identiteitskenmerken kunnen er aan bijdragen dat een schoolleider in zijn school goed (en beter) functioneert als pedagogisch leider, ten aanzien van het onderwijs in de exacte vakken?

MECHANISME

In de oudheid ontdekte men al vroeg dat bepaalde werkelijkheidsaspecten zich goed leenden voor een wiskundige benadering, en dat men met behulp van die benadering indrukwekkende prestaties kon bereiken. Het nauwkeurig voorspellen van posities van hemellichamen (zelfs van 'dwaalsterren') behoorde al vroeg tot de prestaties die veel indruk maakten. Dergelijke prestaties bewezen dat wiskundig inzicht kan leiden tot nieuwe competenties, zoals het vermogen om astronomische voorspellingen te doen.

De geschiedenis van de natuurwetenschappen laat zien hoe men, na de astronomie, op steeds meer gebieden ontdekte dat het toepassen van wiskunde inzichten en competenties kon opleveren. De ervaringen van toenemende kennis en vaardigheden, in samenhang met toepassing van steeds meer geavanceerde wiskunde, hebben ertoe geleid dat de rol van wiskunde binnen de natuurwetenschappen steeds prominenter werd. Dijksterhuis (1975) duidde deze ontwikkeling van toenemende mathematisering van natuurwetenschappen aan als '*de mechanisering van het wereldbeeld*'.

In navolging van o.a. Dijksterhuis en Rosen (1991) associeer ik de begrippen *mechanisme* en *mechanisering* in eerste instantie¹ niet met *machines* (als systemen die voor een goed begrip ook verklaringen vanuit functies of doelen nodig hebben), maar met dyna-

¹ In tweede instantie kan een machine wél met 'mechanisme' geassocieerd worden, omdat een machine gedefinieerd kan worden als een doelmatig (kunstmatig) systeem dat 'eigener beweging' een proces voltrekt, dat net zo berekenbaar en voorspelbaar is als een mechanisme.

mische² systemen die zonder verwijzingen naar functies of doelen begrepen kunnen worden. Dit brengt met zich mee:

- dat een mechanisme³ een voorwerp van onderzoek is waarin of waaraan zich een *proces* voltrekt. Met andere woorden: één of meer kenmerken van het systeem veranderen in de loop van de tijd. Omdat fysische wetenschappen ook 'statische systemen' als voorwerp van onderzoek beschouwen, waarbij tijdsverloop geen rol speelt, zijn mechanismen niet de enige voorwerpen van onderzoek waar fysische wetenschappen zich op richten. In dit deel zal ik mij echter beperken tot een reflectie op het onderzoek naar mechanismen⁴.
- dat disciplines, zoals technologie of biologie, die wél gebruik maken van 'machineconcepten', daarmee een ander gebied betreden.
- dat mathematisering een cruciaal aspect is van mechanisering. De eerste implicaties daarvan zal ik in het hierna volgende hoofdstuk uiteenzetten aan de hand van een bespreking van modelvorming in de fysische wetenschappen.

In verband hiermee zij herinnerd aan een methodisch aspect, dat aan het einde van deel I werd aangekondigd. Om de reikwijdte van de mogelijkheden en beperkingen van fysische wetenschap te kunnen bepalen, is de vraag belangrijk of ik voort kan bouwen op Rosens conclusie (uit 1991), dat deze tak van wetenschap gekarakteriseerd kan worden als '*mechanisme-wetenschap*' (hoofdstuk 3, § 3.b). Daarom zal in het nu volgende hoofdstuk 11 geruime aandacht besteed worden aan de wijze waarop Rosen deze conclusie afleidt uit zijn analyse van de klassieke fysica. In hoofdstuk 13 zal, in vervolg daarop, nagegaan worden of deze conclusie gehandhaafd kan worden tot en met de meest recente ontwikkelingen van fysische wetenschap.

Tenslotte zij vermeld dat lezers, voor wie de behandeling van fysische wetenschap in de hoofdstukken 11 tot en met 13 té gedetailleerd is, in hoofdstuk 16 (§ 1) een samenvatting van deze hoofdstukken kunnen vinden.

² 'Dynamisch' betekent in dit verband: tijdsafhankelijk.

³ In het volgende hoofdstuk zal het begrip '*invariantie*' geïntroduceerd worden als equivalent met 'mechanisme' (pagina 334). Deze laatste term kan gebruikt worden wanneer het accent ligt op het zoeken naar een vaste relatie tussen veranderlijke kenmerken, én op het uitgangspunt dat het aantal kenmerken, waartussen een vaste relatie gevonden kan worden, eindig moet zijn.

⁴ Deze beperking is niet wezenlijk. Statische systemen maken altijd deel uit van dynamische systemen, en het kunnen voorspellen van toekomstige toestanden van dynamische systemen is en blijft een essentieel aspect van fysische wetenschap.

HOOFDSTUK 11

Onderzoek en gevolgblijkheid

In dit hoofdstuk wordt de ontwikkeling van de klassieke mechanica in hoofdlijnen geschetst. Aan de hand van het modelconcept wordt beschreven hoe fysisch onderzoek enkele belangrijke kenmerken 'erft' van de ontwikkeling van wiskunde, zoals het formaliseren. Ook wordt beschreven hoe fysische wetenschap nieuwe concepten introduceert, zoals 'toestand-op-een-moment' en 'systeem-in-omgeving'.

Daarbij wordt geschetst op welke wijze fysisch onderzoek vanaf de 17^e eeuw het karakter ontwikkelt van een empirische wetenschap, die op grond van herhaalbare experimenten mathematische modellen ontwikkelt, en via kritische toetsen verbetert, zodanig dat generieke kennis met een zo groot mogelijke mate van zekerheid verkregen wordt. Daarbij geldt het vermogen om nauwkeurige voorspellingen te doen als essentieel criterium. Om deze doelen te bereiken wordt 'waarnemen' ingeperkt tot 'observeren'.

Daarnaast wordt beschreven hoe fysische wetenschap, die het aristotelische causaliteitsconcept om te beginnen al inperkt tot 'causa efficiens' en 'causa materialis', zich uiteindelijk beperkt tot twee modi van gevolgblijkheid, namelijk 'recursieve gevolgblijkheid' en 'synthetische deel-geheel gevolgblijkheid'. Deze twee modi vormen samen een geheel binnen de gevolgblijkheid die sindsdien 'causaliteit' is gaan heten.

Dankzij het modelconcept blijft daarbij het onderscheid bewaard tussen gevolgblijkheid die eigen is aan een origineel fysisch systeem, en anderzijds de 'inferentiële gevolgblijkheid' van een mathematisch model. Zoals blijkt uit de definitie van een 'mechanisme', die aan het einde van het hoofdstuk wordt bereikt: *een mechanisme is een observeerbaar dynamisch systeem, voor zover het modelvorming toelaat die de twee kenmerken heeft van recursiviteit en synthetische opbouw.*

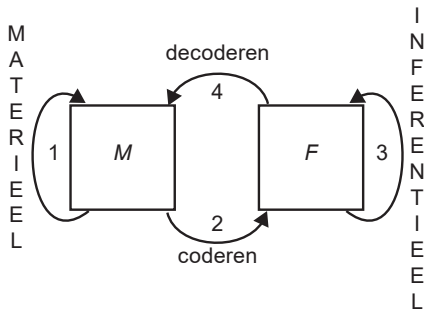
Vergelijkbaar met de ontwikkeling van wiskunde tot wetenschap van formaliseerbare orde, kan men ook in de ontwikkeling van de fysische wetenschap een 'identiteitsontwikkeling' herkennen⁵. Deze ontwikkeling kan in grote lijnen als volgt beschreven worden:

- Oorspronkelijk vormde de fysische wetenschap één geheel met de biologie, en rekenden alle natuurwetenschappen de aristotelische vier soorten van gevolgblijkheid, causa materialis (materiële oorzaak), causa efficiens (werkoorzaak), causa formalis (vormoorzaak), en causa finalis (doeloorzaak), tot hun terrein van onderzoek (E. J. Dijksterhuis, 1975, pp. 43-44; Hübner, 2001).

⁵ In deze studie beschrijf ik die ontwikkeling met name aan de hand van Dijksterhuis (1975) en Rosen (1991). Naar Rosens *Life Itself* verwijs ik in dit hoofdstuk als (a.w., p. ...).

- In samenhang met hun mathematisering gingen natuurkunde en scheikunde er in de loop van de 17^e en 18^e eeuw toe over om de *causa finalis* (doeloorzaak) buiten hun werkterrein en concept van gevolglijkheid te plaatsen⁶. Daarmee werd de biologie, voor zover deze het niet zonder verklaringen vanuit doelmatigheid of functionaliteit kan stellen, buiten de 'exacte' natuurwetenschap geplaatst (a.w., p. 48-49, 133).
- Met 'causaliteit' worden sindsdien, in de fysische (of exacte) natuurwetenschap, de mathematisch formuleerbare gevolglijkheden bedoeld die overblijven wanneer men verklaringen vanuit doelmatigheid of functionaliteit uitsluit.
- 'Mechanismen' definieert men sindsdien als de dynamische systemen waarvan de kenmerken causaal verklaard kunnen worden.

Figuur 1



- Deze ontwikkeling impliceerde dat de fysische wetenschap, in tegenstelling tot wiskunde, haar oriëntatie op waarheid handhaafde, in de zin dat het resultaat van $2+3+4$ gelijk moet zijn aan het resultaat van 1 uit het modelschema. Met de aantekening, dat deze wetenschap moet accepteren dat er onvermijdelijk grenzen zijn aan de nauwkeurigheid van de overeenstemming tussen mathematische modellen en materiële systemen.

Tegen deze achtergrond komt nu de volgende vraag aan de orde:

Hoe heeft het onderzoek zich ontwikkeld, dat leidde tot het definiëren van 'mechanismen' als dynamische systemen die causaal verklaard kunnen worden; en hoe werd die causale gevolglijkheid nader gespecificeerd?

1 MODELVORMING

Terwijl de wiskunde op den duur de band met de empirie doorsneed, en zich ging concentreren op zuiver formele structuren, bleef de fysica vasthouden, zowel aan de band

⁶ Naast de '*causa finalis*' werd door velen ook de '*causa formalis*' uitgesloten, met name wanneer deze laatste geïnterpreteerd werd als verwant aan en verbonden met de *causa finalis* (E. J. Dijksterhuis, 1975, p. 44).

met waarneembare en meetbare systemen, als aan het representeren van de in die systemen ontdekte gevolgtrekkingen in de formele taal van wiskunde. Zo beschouwd hebben de fysische wetenschappen de 'empirische traditie' van de klassieke reken- en meetkunde, die in de 19^e eeuw door de wiskunde werd verlaten, onveranderd voortgezet.

1.a Oude en nieuwe kenmerken

Daarom is de voorstelling middels het modelbegrip, die in deel II (hoofdstuk 4, § 1) van de 'oude wiskunde' gegeven werd (zie figuur 1), geheel toepasbaar op de fysische wetenschappen. Om dit toe te lichten zal ik nu de klassieke mechanica, als voorbeeld nemen. Het zal dan blijken dat deze mechanica een aantal algemene kenmerken deelt met de oude 'empirische' reken- en meetkunde, en op het gebied van andere kenmerken een verschillend 'bijzonder geval' is van de in figuur 1 weergegeven algemene benadering van onderzoek.

Toelichting:

- Tot de blijvende algemene kenmerken behoren het 'idealiseren' en 'abstraheren' (hoofdstuk 4, § 1.a). Galileï ontwikkelde bijvoorbeeld een model van de valbeweging waarin geheel werd afgezien van luchtweerstand. En zo nam Newton het concept 'puntmassa'⁷ als uitgangspunt voor zijn mechanica.
- Tot de kenmerken die specifiek zijn voor de mechanica behoren een aantal nieuwe begrippen, die een rol spelen in de taal van modelvorming (in aanvulling op de oude reken- en meetkundige begrippen), zoals: 'tijd', 'snelheid', 'versnelling', 'massa', 'kracht', et cetera. Deze begrippen spelen allen een rol in de sfeer van het 'coderen' (pijl 2) en 'decoderen' (pijl 4). Het gaat om begrippen die enerzijds betrekking hebben op kenmerken van materiële systemen, die geobserveerd kunnen worden, en die anderzijds betrekking hebben op variabelen die voorkomen in de formules die binnen F een wiskundig afleidings- of rekenproces bepalen. Deze nieuwe begrippen vervullen dus in het specifieke geval van de mechanica de 'brugfuncties' tussen M en F .
- Om die brugfuncties te kunnen vervullen moeten deze begrippen betrekking hebben op 'observeerbare kenmerken'. Dat wil zeggen, dat het vervullen van die brugfuncties specifieke eisen stelt aan deze kenmerken en aan het waarnemen door de waarnemer. Wanneer aan deze eisen voldaan is kunnen we spreken van 'observeerbaarheid' en 'observeren' (als inperkingen van waarneembaarheid en waarnemen). In de hierna volgende § 2 zal ik uitwerken wat deze eisen inhouden.

⁷ Dat wil zeggen: een voorwerp zonder ruimtelijke uitgebreidheid, waaraan toch een massa kan worden toegekend. Een volkomen denkbeeldige entiteit dus, die in de materiële werkelijkheid niet kan bestaan.

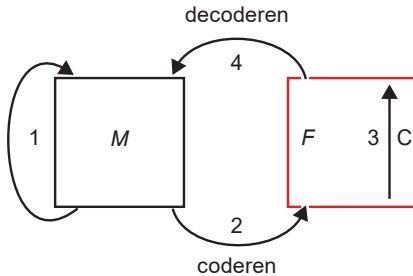
- Eén van de eisen aan observeren verdient hier aparte vermelding omdat deze, zoals hierboven al vermeld, samenhangt met de handhaving van de oriëntatie op waarheid door de fysica. Dat is de eis dat men bij het observeren streeft naar een zo groot mogelijke nauwkeurigheid. De keerzijde van deze eis is echter, dat fysisch onderzoek per definitie accepteert dat volmaakt nauwkeurig observeren niet bestaat, en er dus, zowel bij het coderen (pijl 2) als bij het decoderen (pijl 4) altijd een marge van onzekerheid blijft bestaan⁸.
- Een belangrijk nieuw concept, dat met de mechanica zijn intrede deed, is het begrip '*toestand*'⁹. Onder de noemer van dit begrip worden een aantal kwantificeerbare kenmerken samengebracht, die tezamen 'de-toestand-op-een-bepaald-moment' van een veranderend materieel systeem bepalen. Men kan bijvoorbeeld afspreken dat 'positie in de ruimte' en 'snelheid' samen de toestand van een object beschrijven. De plaatscoördinaten plus grootte en richting van de snelheid zijn dan de '*toestandsvariabelen*'. De waarden van deze variabelen-op-een-bepaald-moment bepalen dan de toestand-op-dat-moment. Het model moet dan vooral verklaren volgens welke 'wetten' een latere toestand uit voorafgaande toestanden volgt. Met andere woorden: het gaat om het verkrijgen van inzicht in de '*toestandsovergangen*' van een materieel systeem.
- Een ander blijvend kenmerk is de scheiding tussen semantiek en syntaxis. Vanwege de nauwe relatie volgden de exacte natuurwetenschappen de wiskunde op de voet in haar ontwikkeling naar consequente formalisering. Ook in deze natuurwetenschappen belichaamt 'pijl 3' een procedure voor het afleiden van resultaten, die in de loop van de geschiedenis steeds consequenter 'gezuiverd' werd van semantische verwijzingen. De in het vorige deel geïntroduceerde metafoer van de isoleercel (hoofdstuk 5, § 3.c, zie figuur 2) is dus ook op deze wetenschappen geheel van toepassing. Toegepast op de mechanica: in de fase dat 'pijl 3' aan de orde komt worden haar concepten, zoals 'tijd', 'snelheid', 'versnelling', 'massa' en 'kracht', gerepresenteerd door formele symbolen die als input dienen voor 'semantisch blind' uitgevoerde bewerkingen. Het ontwikkelen van methoden om ook deze nieuwe kenmerken te kunnen formaliseren tot symbolen binnen een streng gereguleerd mathematisch spel, was overigens een opgave die eeuwen van denkwerk heeft gekost. Met name het formaliseren van de begrippen van 'snelheid-op-één-moment' en in het verlengde daarvan 'versnelling-op-één-moment' hebben wiskundigen veel hoofdbrekens gekost. Pas aan het einde van de 17^e eeuw was de wiskunde zover dat de formalisering van deze 'bewegingsconcepten' echt ging lukken. En het waren ook vaak dezelfde persoonlijkheden, die in de wiskunde in de frontlinie van deze ontwikkelingen hun sporen ver-

⁸ Men streeft er in het algemeen naar om naast de waarde die een meting oplevert ook de marge van onzekerheid aan te geven. Een meting levert dan bijvoorbeeld op: $0,035 \pm 0,002$.

⁹ Zo belangrijk dat Rosen daar een heel hoofdstuk aan wijdt (a.w., hoofdstuk 4).

dienden, zoals Isaac Newton, die ook als eersten de mogelijkheden zagen om de geboekte vooruitgangen¹⁰ in de mechanica toe te passen.

Figuur 2



De mechanica introduceerde echter ook een nieuw element, dat in de oude reken- en meetkunde in het geheel niet aanwezig was. Dit nieuwe element was het verdisconteren van een concept van 'omgeving' in de verklaring van het gedrag van een systeem. In de loop van de 17^e eeuw brak langzamerhand het besef door dat een (in het denken) uit zijn omgeving afgezonderd mechanisch systeem, zoals een vallend voorwerp, een kogel in zijn baan, of een aarde-maan systeem, in zijn gedrag ook nog bepaald kan worden door kenmerken van de omgeving waaruit het is afgezonderd. En, dat men dus, bij het onderzoek naar het gedrag van een systeem, niet kan vergeten dat dit systeem uit een bepaalde omgeving is afgezonderd, en dat sommige kenmerken van die omgeving van invloed zijn op het gedrag van het systeem. Kortom: dat men niet kan vergeten dat een systeem altijd een systeem-in-een-omgeving is. Hoe de noodzaak om een omgevingsconcept in de opvatting van een fysisch systeem 'mee te nemen' zich op den duur aan onderzoekers opdrong kan toegelicht worden aan het voorbeeld van Galilei's onderzoek naar vallende systemen.

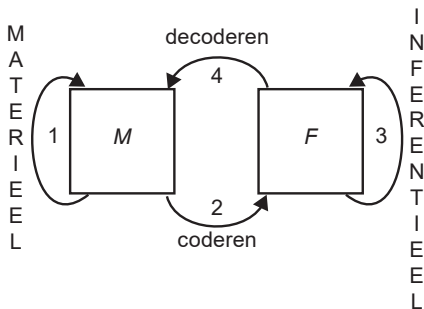
Sinds Aristoteles werd de valbeweging verklaard uit de *zwaarte*, ofwel het gewicht, van het vallende voorwerp. In de lijn van deze traditie dacht men de gevolgljkheid, die aan deze beweging ten grondslag lag, door het gebruik van dit begrip 'zwaarte' in principe wel begrepen te hebben. Men erkende later Galilei terecht als één van de belangrijke wegbereiders van empirische wetenschap omdat hij daarover opmerkt, dat alleen het geven van een naam nog niet betekent dat wij iets begrepen hebben (E. J. Dijksterhuis, 1975, p. 373). Galilei koos ervoor om eerst maar eens een zo nauwkeurig mogelijke beschrijving van de valbeweging te vinden, ofwel: om een kloppend model van de valbeweging op te stellen, voordat er conclusies getrokken zouden worden over de achterliggende gevolgljkheid. Om tot die beschrijving, c.q. dat model, te komen heeft Galilei allerlei experimenten uitgevoerd, en daarbij metingen verricht. Experimenten met voorwer-

¹⁰ Zoals de mogelijkheden om 'limietovergangen' te berekenen, de differentiaalrekening, het wiskundige concept van 'continuïteit', et cetera (Struik, 2008, pp. 148-154).

pen die langs een hellend vlak naar beneden rolden, en experimenten met slingers. Hij zette die experimenten bovendien zodanig op dat hij zijn objecten kon vereenvoudigen (idealiseren) tot vallende systemen waarbij de luchtweerstand, en andere vormen van wrijving, verwaarloosd konden worden (E. J. Dijksterhuis, 1975, pp. 371, 380-381)¹¹. Zodoende kwam hij tot de in zijn tijd verrassende conclusie dat, onder de conditie van deze vereenvoudiging, voorwerpen van verschillende zwaarte precies even snel naar beneden vallen. De valbeweging bleek dus, in tegenstelling tot wat eeuwenlang was aangenomen, in het geheel *niet* afhankelijk te zijn van de zwaarte van het vallende voorwerp.

Galileï zocht uiteraard ook naar de wiskundige formuleringen waarmee pijl 3 geformaliseerd zou kunnen worden. In principe vond hij voor pijl 3 al de formules die nog steeds in het voortgezet onderwijs onderwezen worden: $v=at$ en $s=\frac{1}{2}at^2$ (v = snelheid; t = tijd; s = afgelegde afstand). De eerste formule zegt dat de snelheid evenredig met de tijd toeneemt, volgens een vast verhoudingsgetal a (dat ongeveer gelijk is aan 10). De tweede formule was door voorgangers van Galileï al geformuleerd als de 'kwadratenwet', die zegt dat de afgelegde afstand evenredig is met het kwadraat van de tijd. Het was al Galileï's overtuiging dat deze twee formules logisch van elkaar afhankelijk waren, maar hij slaagde er nog niet in om deze logische afhankelijkheid sluitend te bewijzen (E. J. Dijksterhuis, 1975, pp. 375-379). Voor een sluitend bewijs bleek achteraf de wiskunde nodig te zijn, die pas in de tijd van Newton voldoende ontwikkeld was.

Figuur 3



De ontdekking van omgevingsinvloed hangt nauw samen met het voortgaande onderzoek naar de rol van het bovengenoemde verhoudingsgetal a . Het was duidelijk dat men dit getal moest opvatten als 'versnelling', dat wil zeggen: de snelheid waarmee snelheid verandert. Vanaf het moment dat men wiskundig vat kreeg op het begrip 'snelheid-op-een-moment' was het maar een kleine stap om ook vat te krijgen op het begrip

¹¹ Van Galileï's eerste biograaf Viviani is het verhaal afkomstig dat hij voorwerpen met verschillend gewicht van de scheve toren van Pisa liet vallen (van Helden, 2012), maar volgens Dijksterhuis (1975, p. 370) is er alle aanleiding om dit verhaal te wantrouwen.

'versnelling-op-een-moment' (en op begrippen van 'versnelling-van-versnelling', en zo voorts tot in het oneindige). Bovendien werd het op den duur ook steeds aannemelijker dat deze a niet als een universele constante beschouwd moest worden, maar als een *variabele* die niet in alle omgevingen dezelfde waarde hoefde te hebben. Het is opmerkelijk dat deze aannemelijkheid niet in hoofdzaak op empirische gegevens gefundeerd was, maar vooral gebaseerd was op formele overwegingen. Als eerste overweging kan hier Newton's intuïtie genoemd worden, dat de bewegingen van hemellichamen volgens eenzelfde model beschreven zouden kunnen worden als de bewegingen van voorwerpen op aarde. Deze intuïtie opende de mentale ruimte voor de voorstelling die in de eerste 'hoofdwet'¹² van Newton geformuleerd is, namelijk dat een 'puntmassa', die zich in een 'lege ruimte' bevindt, volhardt in een rechtlijnige beweging met een constante snelheid. Om zich deze hoofdwet in gedachten voor te kunnen stellen moet men de aarde kunnen 'wegdenken', zich kunnen voorstellen dat a dan de waarde 0 zou kunnen hebben, en hoe voorwerpen zich dan zouden kunnen bewegen. Als tweede overweging moet genoemd worden dat Newton een systeem wilde ontwikkelen dat in staat zou stellen om het gedrag van bewegende systemen (op aarde of aan de hemel) te *voorspellen*. Dat wil zeggen: hij wilde een model ontwerpen waarmee een volgende toestand van een bewegend systeem uit voorafgaande toestanden afgeleid zou kunnen worden. Zoals bijvoorbeeld Rosen (a.w., hoofdstuk 4) uitvoerig laat zien is deze voorspelbaarheid wiskundig gezien alleen mogelijk wanneer de rij van de variabelen snelheid, versnelling, versnelling van versnelling, versnelling van ..., enzovoorts, niet oneindig is, maar ergens eindigt bij een constante¹³. De aanname dat de versnelling a een omgevingskenmerk is, dat constant is (of in de omgeving voorspelbaar verandert), biedt daarom formeel gezien een mooie oplossing voor het probleem van voorspelbaarheid.

De directe empirische bevestigingen van de hypothese dat a niet een universele constante maar een omgevingsvariabele is, dateren van latere tijd. Toen men veel nauwkeuriger kon meten dan in Newton's tijd werd bijvoorbeeld empirisch bevestigd dat de waarde van a niet overal op aarde precies gelijk is, en dat deze waarde afneemt naar mate men op grotere hoogte komt. Toen men daadwerkelijk omgevingen buiten de aarde kon bezoeken werd evident dat de waarde van a op de maan veel kleiner is dan op aarde, en dat deze waarde in een ruimtestation als omgeving tot 0 kan naderen.

Zodoende brak dus het besef door dat het gegeven dat de aardmassa, die zich bevindt in de omgeving van alle materiële systemen die wij op aarde onderzoeken, een belangrijke invloed uitoefent op de dynamiek van al die systemen. Later kwamen de noties van elektrisch veld, magnetisch veld en andere vormen van 'krachtvelden' daar nog bij, als aanvullende omgevingskenmerken die invloed op het gedrag van een materieel systeem kunnen uitoefenen.

¹² Welke 'hoofdwet' in feite het karakter heeft van een axioma (een zelf onbewijsbare stelling die de bewijsbaarheid van andere stellingen mogelijk maakt) (E. J. Dijksterhuis, 1975, p. 512).

¹³ Zoals volgt uit de stelling van Taylor (a.w., § 4E).

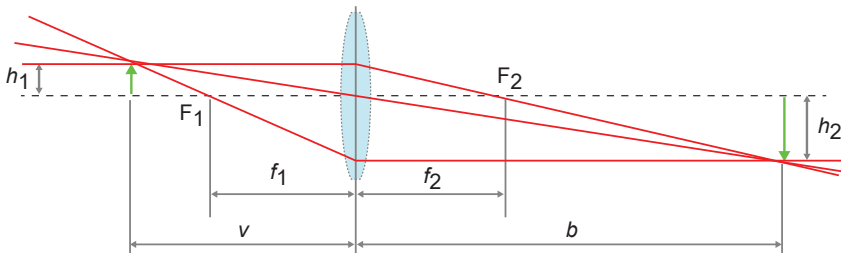
Het onderscheiden tussen systeem en omgeving, en het bij modelvorming rekening houden met de bepalende invloed die de omgeving op een systeem kan uitoefenen, is sindsdien een vast kenmerk geworden van de manier waarop de fysica haar voorwerpen van onderzoek benadert. Deze benadering is ook één van de redenen waarom wetenschappers in veel gevallen de voorkeur geven aan de term 'systeem' boven 'object'. Een systeem is per definitie een 'systeem-in-een-omgeving' en zodoende helpt dit concept om een belangrijk aandachtspunt niet te vergeten. Achteraf kan men zelfs concluderen dat deze 'systeem-benadering' ook al van toepassing was op de oude 'empirische' meetkunde. De geldigheid van de euclidische meetkunde bleek immers in de 20^e eeuw afhankelijk te zijn van een omgeving waarin de 'ruimte-kromming' verwaarloosbaar is.

Volgens Rosen (a.w., p. 42) is dit concept van 'systeem-in-omgeving' voor de natuurwetenschappen even fundamenteel als het begrip 'verzameling' voor de wiskunde. Het is nu eenmaal het lot van dergelijke impliciet aangenomen en fundamenteel 'diepliggende' concepten dat het twee millennia kan duren voordat men erin slaagt hen expliciet te maken. Maar, zodra dergelijke begrippen expliciet gemaakt zijn, kan iedereen inzien dat, en waarom, hun rol zo fundamenteel is.

1.b Modellen en metaforen

Hierboven noemde ik het nieuwe kenmerk, dat in de taal van fysieke modelvorming nieuwe begrippen (zoals 'tijd', 'snelheid', 'kracht', et cetera) een rol spelen (pagina 323), maar ben ik nog niet ingegaan op de vraag naar de herkomst van die begrippen. Bij die herkomst hebben metaforen vaak een belangrijke rol gespeeld. Het vergelijken van nog onbegrepen verschijnselen met beter bekende verschijnselen is immers een oude strategie om een eerste vorm van begrip te ontwikkelen. De fysica maakt daarop geen uitzondering. Binnen deze discipline staan metaforen vaak aan de oorsprong van modellen. Om deze reden wil ik hier enige aandacht besteden aan de rol die metaforen spelen in dienst van modelvorming.

Figuur 4



Van deze rol van metaforen zijn vele voorbeelden te geven. Eén van de duidelijkste voorbeelden is de modelvorming van lichtverschijnselen¹⁴. In dagelijkse taal is de term 'lichtstraal' nog steeds gangbaar. Het woord 'straal' is afkomstig van 'strael' of 'strala' dat 'pijl' betekent¹⁵. Daarom kan men vermoeden dat de term 'lichtstraal' te danken is aan een oude metafoor die de gang van licht vergelijkt met de baan van een snelle pijl. Zoals bij alle metaforen is het volstrekt duidelijk dat licht niet hetzelfde is als een snelle pijl, maar, zowel de enorme snelheid van het licht, als de perfecte rechte lijnen waarlangs het zich beweegt, doen denken aan de rechtlijnige beweging van een ideaal-snelle pijl.

Een metafoor leidt echter pas tot een model, zoals de exacte natuurwetenschappen zich een model wensen, wanneer het mogelijk is om de beeldspraak te mathematiseren, zodat geobserveerde kenmerken gecodeerd kunnen worden in wiskundige variabelen, die na het uitvoeren van een afleiding weer gedecodeerd kunnen worden ter verificatie of falsificatie van het model¹⁶. De metafoor moet dus in de eerste plaats getransformeerd worden naar een wiskundig te formuleren syntaxis die van alle semantiek geïsoleerd kan worden. In het geval van de fysische theorievorming omtrent licht is dat ook gebeurd. Het concept van de 'rechtlijnige voortplanting van licht' werd vertaald in *geometrische optica*. Deze 'vertaling' impliceert de vorming van een model waarmee betrouwbare gevolgtrekkingen over licht gemaakt kunnen worden, met behulp van formeel-meetkundige logica. Voor het ontwikkelen van vele optische instrumenten is dit model nog steeds een adequaat en betrouwbaar model.

De mathematisering van de oorspronkelijke metafoor impliceert dat de concepten die in het model functioneren, zoals bijvoorbeeld 'brandpunt' of 'breking', zuiver operationeel gedefinieerd zijn in termen van de interne regels van het wiskundig-formele spel waarin zij functioneren. Termen zoals 'brandpunt' en 'breking' hebben nog wel een historisch verband met 'branden' en 'breken', maar in hun definities binnen het geometrische spel van deze optica is daar niets meer van terug te vinden. Wat dit betreft lijkt de vertaling van deze termen naar een formeel systeem op het zuiver operationeel definiëren van termen zoals 'paard' en 'toren' binnen het schaakspel¹⁷.

¹⁴ Hierbij kan de vraag opkomen of lichtverschijnselen wel voorbeelden zijn van de mechanismen die het onderwerp vormen van dit hoofdstuk. In de volgende paragraaf zal ik toelichten dat de kenmerken van recursiviteit en synthetische opbouw algemene vereisten werden voor alle fysische modellen die op enigerlei wijze op 'toestanden van systemen' betrekking hebben. Daarom moeten ook modellen die betrekking hebben op de voortplanting van licht aan deze eisen voldoen, en voldoen 'trillings-systemen' net zo goed als de newtoniaanse deeltjes-systemen aan de definitie van een mechanisme die op pagina 343 geformuleerd is.

¹⁵ Zie het *Etymologisch woordenboek van het Nederlands* (Philippa, Debrabandere, Quack, Schoonheim, & van der Sijs, 2014).

¹⁶ Zoals bijvoorbeeld Toulmin (1967, pp. 28-36) en Rosen (a.w., § 31) benadrukken.

¹⁷ Hier gebruik ik opnieuw de metafoor van het schaakspel, die ik al eerder gebruikte om het formele karakter van een wiskundig axiomatisch systeem toe te lichten (hoofdstuk 5, § 3.a).

2 OBSERVEREN EN EXPERIMENTEREN

Zoals ik hiervoor al aankondigde (pagina 323) moeten het waarnemen, de waarnemingen, en de waarneembare kenmerken van systemen, aan specifieke eisen voldoen om fysische modelvorming mogelijk te maken. Wanneer het waarnemen en de waarneembare kenmerken aan deze eisen voldoen kunnen we spreken van 'observeren', 'observaties' en 'observeerbare kenmerken'¹⁸.

Deze eisen komen voort uit belangen die met fysisch onderzoek gemoeid zijn:

1. Het is van essentieel belang dat de waarnemingen binnen de onderzoeksgemeenschap gemeenschappelijk beheerd kunnen worden. Dat wil zeggen, dat waarnemingen onderling uitgewisseld, getoetst, verbeterd, uitgebreid, en voor later gebruik veilig en toegankelijk opgeslagen kunnen worden.
2. De zekerheid van fysische modelvorming (theorievorming) wordt voor een deel ontleend aan de zekerheid van wiskundig-logische afleidingen en berekeningen die, zoals in het vorige hoofdstuk bleek, weliswaar niet volmaakt, maar wel zeer groot is. Daarnaast moet fysische zekerheid ook ontleend worden aan zekerheid omtrent de waarnemingen waarop een model of theorie gebaseerd is. Waarnemingen moeten dus met een zo groot mogelijke zekerheid vastgesteld kunnen worden. Dat wil zeggen, dat waarnemingen de status moeten kunnen krijgen van '*feiten*' die in de onderzoeksgemeenschap (en daarbuiten) niet langer ter discussie staan.
3. De waarnemingen moeten bruikbaar zijn voor de modelvorming die bij een specifiek onderzoek wordt beoogd. Dat wil zeggen, dat ieder onderzoek (vanuit vraagstelling en/of hypothesen) specifieke eisen impliceert, om zeker te stellen dat opgedane waarnemingen het karakter hebben van observaties die nuttig zijn voor het specifieke onderzoek.

2.a Herhaalbaarheid

Uit de eerste twee van de hier genoemde belangen volgt de globale eis dat de waarnemingen in allerlei verschillende contexten *herhaald* moeten kunnen worden. Een feit is pas een fysisch feit wanneer de waarneming ervan, in diverse contexten zo vaak herhaald kon worden dat er niet meer aan getwijfeld wordt. Deze eis impliceert een sterke inperking. Concrete waarnemingen omvatten immers vele onherhaalbare (unieke) aspecten en elementen, die samenhangen met contexten van onderzoeks-situaties, met kenmerken van onderzoekers als personen, met eenmalige samenlopen van ontwikkelingen en gebeurtenissen, et cetera. Al deze onherhaalbare aspecten en elementen moeten 'uitgefilterd' of 'buiten werking gesteld' worden om herhaalbare observaties te ver-

¹⁸ In de Engelstalige literatuur 'observables', zie bijvoorbeeld (Bogen, 2014).

krijgen. Ten behoeve van deze herhaalbaarheid hebben zich een aantal nadere eisen ontwikkeld die kenmerkend zijn voor 'klassiek-fysisch' onderzoek¹⁹.

- a. In de eerste plaats moet het object van onderzoek op herhaalbare wijze geïdentificeerd kunnen worden. Wanneer ik bijvoorbeeld in een natuurkundeles op school de valwetten van Galileï wil toetsen aan een 'vallend systeem', dan moet ik aan een ondubbelzinnige definitie van 'vallende systemen' een aantal generieke en feitelijk observeerbare kenmerken kunnen ontleen, aan de hand waarvan ik kan vaststellen of ook mijn proefopstelling een instantie is van de categorie 'vallende systemen'.

In de fysische wetenschap kan deze eis leiden tot ingewikkelde en technisch geavanceerde procedures. Wanneer men bijvoorbeeld onderzoek wil doen naar cadmium, dan is verondersteld dat bekend is in welke gesteenten cadmium gevonden kan worden, hoe het ruwe materiaal gezuiverd kan worden tot 'zuiver cadmium', en aan welke observeerbare kenmerken getoetst kan worden of men inderdaad zuiver cadmium verkregen heeft. Pas wanneer dit hele proces van cadmium-winning voldoende betrouwbaar gereproduceerd kan worden, kan men de observaties aan cadmium herhalen die in de literatuur beschreven staan, en kan men onderzoek ondernemen om de bestaande kennis van cadmium te verfijnen, uit te breiden, et cetera²⁰. Deze eis, dat men er bijvoorbeeld zeker van wil zijn dat waarnemingen aan cadmium ook inderdaad waarnemingen aan cadmium zijn, wordt in de basisboeken voor onderzoekers, zoals bijvoorbeeld (Baarda & de Goede, 2001), aangeduid als de eis van *validiteit*.

Met andere woorden: wanneer we kijken naar het model-schema dat hiervoor op pagina 326 is weergegeven, dan vragen dus niet alleen model F en de observaties die daarvoor als input en als output dienen (de pijlen 2 en 4) om zorgvuldigheid en denkracht. Ook de betrouwbare reproductie van het te onderzoeken materiële systeem M kan om het investeren van veel zorgvuldigheid en vernuft (en soms ook van veel geld) vragen.

De criteria en definities waaraan M moet voldoen zijn in het algemeen in geïdealiseerde vorm geformuleerd. Daarom gaat het in de onderzoekspraktijk erom dat men een systeem M kan reproducen dat *in voldoende mate* aan de ideale criteria en definities voldoet. Een volmaakt wrijvingloos vallend systeem is bijvoorbeeld niet haalbaar, en voor een demonstratie in de klas voldoet een benadering waarbij de wrijving verwaarloosbaar is, gezien de beperkte nauwkeurigheid van observaties die in een classesituatie mogelijk zijn. Voor elk fysisch onderzoek en experiment geldt in principe deze regel van voldoende nauwkeurige benadering. Maar, omdat de eisen aan nauwkeurigheid steeds verder opgevoerd worden, wordt het in veel gevallen steeds moeilijker, ingewikkelder, en vaak ook duurder, om daaraan te voldoen.

¹⁹ En die ook, onder invloed van de successen van fysisch onderzoek, in veel gevallen en in belangrijke mate door andere onderzoeksdisciplines werden overgenomen.

²⁰ Dit voorbeeld is ontleend aan (Toulmin, 1967, p. 143).

- b. In de tweede plaats moet de waarnemer zich zo goed mogelijk beperken tot een 'objectieve blik'. Dat wil zeggen, dat de waarnemer zichzelf al zo goed mogelijk beperkt tot waarnemingen die een andere waarnemer precies zo zou waarnemen als hijzelf, of ook in andere situaties of op andere momenten precies zo zou waarnemen als hij hier en nu waarneemt. Een wetenschappelijk geschoolde waarnemer kan zich erin oefenen om zo herhaalbaar mogelijk waar te nemen. Deze eis, dat het in principe niet moet uitmaken welke waarnemer op welke manier of op welk moment een kenmerk waarneemt, wordt in de basisboeken voor onderzoekers, zoals bijvoorbeeld (Baarda & de Goede, 2001), aangeduid als de eis van *betrouwbaarheid*.

De vaardigheid om objectief waar te kunnen nemen berust voor een belangrijk deel op zelfbewustzijn en zelfinzicht. Om de onherhaalbare, contextafhankelijke aspecten uit te kunnen filteren moet de waarnemer zich zo goed mogelijk bewust zijn van de eigen voorkeuren, wensen, belangen, vermoedens, vanzelfsprekendheden, vooroordelen, et cetera, en al zijn daarmee samenhangende contextafhankelijke interpretaties. Wanneer de waarnemer zich van dit alles bewust is, is hij ook beter in staat om uit te filteren wat herhaalbaarheid in de weg staat.

Daar komt bovendien nog bij dat de 'bias' van een onderzoeker ook kan voortkomen uit vooroordelen, vanzelfsprekendheden, belangen, et cetera, die niet persoonsgebonden zijn maar inherent zijn aan de omgeving (sociaal, cultureel, wetenschappelijk, ...) waarbinnen de waarnemer functioneert. Om objectief waar te kunnen nemen moet een waarnemer zich ook daarvan zo goed mogelijk bewust zijn.

Een volledig zelfinzicht is natuurlijk onhaalbaar. Het probleem van de échte vanzelfsprekendheden is immers, dat zij zó vanzelfsprekend zijn dat men zich er niet van bewust is. Denk bijvoorbeeld aan de eeuwenlang heersende vanzelfsprekendheid, dat 'zwaarte' de oorzaak is van het 'vallen' en dat zwaardere voorwerpen *dus* sneller zullen vallen dan lichtere (pagina 325). Eeuwenlang was kennelijk niemand tot het besef gekomen dat dit een onbewezen vooroordeel was. Het was daarom een prestatie van groot formaat van Galileï dat hij dit wel besepte, en dat hij daardoor in staat was om dit vooroordeel te relativiseren tot een 'vermoeden', en vervolgens tot een 'hypothese' die via objectieve waarnemingen gefalsifieerd kon worden²¹.

Een bekende strategie, om de feilbaarheid van het besef van eigen 'bias' zo goed mogelijk te ondervangen, is het gebruik om een zo groot mogelijk transparantie te betrachten. Onderzoekers leggen hun gedachtegangen, werkwijzen en technieken 'op tafel' om aan andere onderzoekers de mogelijkheid te bieden om de vinger te leggen bij eventuele verborgen aannames, voorkeuren, belangen, et cetera.

²¹ Men kan Galileï dus voorstellen als een popperiaan ante dato. Maar, de werkelijke relatie is natuurlijk omgekeerd: onderzoekers zoals Galileï inspireerden Popper tot het formuleren van zijn visie op de groei van wetenschap. Daarbij was Galileï voor Popper vooral belangrijk als voorbeeld van een onderzoeker die uit is op het steeds beter benaderen van waarheid en het ontmaskeren van illusies (2002, pp. 129-135).

- c. Een derde nadere eis ontwikkelde zich op grond van het uitgangspunt, dat de natuur die de fysica onderzoekt, een natuur is die onafhankelijk van onze waarnemingen bestaat. Op grond van dit uitgangspunt is het een belangrijke voorwaarde voor de beoogde herhaalbaarheid dat onderzoekers zodanig waarnemen, dat het waargenomen systeem niet door het waarnemen 'verstoord' wordt. Men wil immers herhaalbaar waarneembare aspecten van het voorwerp van onderzoek zélf vaststellen, en men moet daartoe 'besmetting' van dit voorwerp van onderzoek door invloeden van het waarnemen voorkomen. Deze eis is de achtergrond van het klassieke 'meetprobleem'. Een duidelijk voorbeeld van dit meetprobleem is het waarnemen van de temperatuur van een vloeistof of een gas met behulp van een thermometer. Het probleem is dat de thermometer, om zijn werk te kunnen doen, een beetje warmte van het te meten systeem moet wegnemen. Het waargenomen systeem is dus door de waarneming een beetje minder warm geworden dan het vóór de waarneming was. Wanneer verschillende waarnemers verschillende soorten van thermometers gebruiken, dan kan een vorm van 'ruis' de waarnemingen zodanig vertroebelen dat herhaalbaarheid verloren gaat, óf dat het niet meer duidelijk is welke herhaalbaarheid aan het voorwerp van onderzoek toegeschreven kan worden, en welke aan eventueel herhaalde kenmerken van het waarnemen.

Fysische onderzoekers hanteren in principe drie strategieën om met dit meetprobleem om te gaan. De eerste strategie houdt in dat men er zorg voor draagt, of zich ervan vergewist, dat (voor zover men weet) het waarnemingsproces geen versturende invloed uitoefent op het voorwerp van onderzoek²². De tweede strategie houdt in dat men een onvermijdelijke verstoring van het te meten systeem zó gering houdt dat de invloed daarvan verwaarloosbaar is binnen de marges van nauwkeurigheid die bij het betrokken onderzoek gelden. Bij een temperatuurmeting moet men dan een zodanig verfijnd meetinstrument gebruiken dat de warmte die weggenomen wordt verwaarloosbaar gering is. Een derde strategie houdt in dat men (indien mogelijk) de invloed van het meetinstrument 'terugrekent', om zodoende de verstoring door de meting rekenkundig 'ongedaan te maken'²³.

Wat deze drie strategieën niet ongedaan kunnen maken, is de onvermijdelijke marge van onzekerheid die inherent is aan elk waarnemen en meten. Deze 'besmet-

²² Eeuwenlang ging men er in dit verband van uit dat in het algemeen versturende invloed voorkomen kon worden door het vermijden van elk fysiek contact en beperking tot zuiver optische waarneming. In de twintigste eeuw werd duidelijk dat 'zien' in een aantal gevallen toch ook in principe versturende invloed impliceert, en dat deze strategie dan eigenlijk beschouwd moet worden als een vorm van de hierna genoemde tweede strategie.

²³ Bij een temperatuurmeting is dit bijvoorbeeld mogelijk wanneer zowel de warmte-capaciteit van de thermometer als van het object van onderzoek bekend zijn. Om die warmtecapaciteiten te bepalen zijn echter voorafgaande warmte-metingen verondersteld, en zo berust de graad van precisie van het terugrekenen dan uiteindelijk weer op de tweede strategie.

ting' van het voorwerp van onderzoek met sporen van het meetproces kan niet voorkomen worden. Dit 'fundamentele meetprobleem' blijft onoplosbaar.

2.b Relevantie en bruikbaarheid

Wanneer waarnemingen nu aan deze drie eisen van herhaalbaarheid voldoen, en zodoende tegemoet komen aan de op pagina 330 genoemde eerste twee belangen van fysisch onderzoek, dan rest nog het tegemoet komen aan het derde belang. Het is mooi wanneer waarnemingen zo goed tegemoet komen aan de eerste twee belangen, dat zij 'observaties' mogen heten, maar dan is het vervolgens nog van belang dat deze observaties relevant en bruikbaar zijn voor de modelvorming waar een specifiek onderzoek aan bij wil dragen.

- a. Als eerste eis moet in dit verband genoemd worden, dat er een *eindig* aantal *veranderlijke* kenmerken bepaald moeten worden, die de *invariante* gevolglijkheid die men zoekt of vermoedt belichamen. Immers, wanneer kenmerken vast zijn, dan is het onmogelijk om via observaties na te gaan of er tussen die vaste kenmerken al dan niet een samenhang bestaat. En, wanneer die samenhang niet gevonden kan worden als samenhang die tussen een *eindig* aantal veranderlijke kenmerken bestaat, dan kan die samenhang niet in de vorm van een overzichtelijk model beschreven worden. Een dergelijke vaste samenhang tussen een eindig aantal veranderlijke kenmerken noemt men daarom wel een *invariantie* (Wigner, 1960, pp. 3-5). De hier bedoelde eis kan dus ook geformuleerd worden als: *er moet een eindig aantal veranderlijke kenmerken gevonden worden die samen een invariantie kunnen belichamen.*

Om deze eis verder uit te werken zal ik opnieuw het voorbeeld van Galilei's onderzoek naar de valbeweging gebruiken²⁴. Neem aan dat het generieke object van onderzoek als volgt geïdentificeerd is: een vrij vallend systeem (VVS) is een 'lichaam'²⁵ dat vanaf een bepaalde hoogte, en zonder beginsnelheid, naar de aarde valt, onder zodanig condities dat de valbeweging geheel aan de invloed van de zwaartekracht toegeschreven kan worden en andere omgevingscondities (zoals luchtweerstand) verwaarloosd kunnen worden. Wanneer de onderzoeker nu één bepaald voorwerp kiest, en een hoogte van waaraf hij het 'vrij' naar beneden laat vallen, dan heeft hij daarmee één instantie van het generieke object VVS tot momentaan voorwerp van observatie gekozen.

In een dergelijk geval zijn er twee soorten van veranderlijke kenmerken te onderscheiden:

²⁴ In een vereenvoudigde vorm, want Galilei observeerde niet alleen loodrecht vallende objecten, maar ook objecten die langs een hellend vlak naar beneden rolden, zie pagina 325.

²⁵ In de fysica is 'lichaam' een technische term voor een uit vaste stof bestaand materieel object.

1. de kenmerken die *verschillen per instantie* van het generieke object (in het geval van een VVS: gewicht, volume, dichtheid, etc. van het vallende lichaam, de gekozen starthoogte, en de tijd die de valbeweging duurt),
2. de kenmerken die *veranderen binnen één instantie* van het generieke object (in casu: afgelegde afstand en snelheid op verschillende momenten, en tijdsduren van verschillende deeltrajecten van de valbeweging).

Het is nu de aan de onderzoeker om uit alle mogelijkheden de veranderlijke kenmerken te kiezen die voor zijn onderzoek relevant zijn. Omdat Galileï de oude aanname betwijfelde, dat de valbeweging van het gewicht afhankelijk is, was het logisch dat hij uit de eerste soort van veranderlijke kenmerken in de eerste plaats 'gewicht' moest kiezen. Daarnaast enkele andere kenmerken, zoals 'volume' en 'dichtheid', als alternatieven voor 'gewicht', om eventuele onvermoede samenhangen te kunnen vinden indien die er zouden zijn. Tenslotte moest hij wel 'starthoogte' en 'valtijd' als veranderlijke kenmerken kiezen omdat hij nu juist de aard van de samenhang tussen deze twee kenmerken in een model wilde kunnen beschrijven, en wilde onderzoeken of één van de andere kenmerken van invloed zou zijn op de aard van die samenhang.

De keuze voor veranderlijke kenmerken van de tweede soort was in Galileï's geval voor de hand liggend: uit gewone waarneming is al duidelijk dat de snelheid van een vallend voorwerp gedurende de val toeneemt, en voor de formulering van een kloppen mathematisch model van de valbeweging was het dus van belang om zo precies mogelijk te observeren hoeveel tijd een vallend voorwerp nodig heeft om deeltrajecten van het gehele valtraject af te leggen. Daarom moesten de verschillende 'tijdstippen' waarop het vallende voorwerp verschillende 'hoogtes' passeert zo nauwkeurig mogelijk geobserveerd worden.

Vervolgens is een nadere eis aan deze gekozen veranderlijke kenmerken, dat de observaties ervan gecodeerd kunnen worden naar 'variabelen' (hoofdstuk 5, § 3.a) die opgenomen kunnen worden in 'formules' (hoofdstuk 5, § 3.a) waaruit een formeel model gevormd kan worden. Dat impliceert dat deze observaties geformuleerd moeten kunnen worden als 'waarden' van een 'variabele'. Met andere woorden, ieder veranderlijk kenmerk moet 'meetbaar' zijn aan een uniforme maatstaf. 'Meten' is immers niets anders dan een procedure die leidt tot het toekennen van een waarde aan een variabele.

Het lijkt mij goed om hierbij te herinneren aan de eenzijdigheid in belangstelling die inherent is aan dit coderen (ofwel 'vertalen') van een veranderlijk kenmerk naar een mathematisch hanteerbare variabele. In het vorige deel (hoofdstuk 9, § 1.a, punt 6) werd deze eenzijdigheid getypeerd als een eenzijdige belangstelling voor generieke structuren en gevolgijskheden. Omdat fysica zich toelegt op het ontdekken van gevolgijskheden die mathematisch formuleerbaar zijn, erft de fysica deze eenzijdigheid van de wiskunde. De bijzondere gedaante, die een veranderlijk kenmerk in een individueel geval heeft, is ook voor de fysica alleen interessant voor zover deze bijzonderheid vertaald kan worden in een waarde van een generieke variabele. En, om

deze waarden onderling vergelijkbaar te maken moeten zij aan een uniforme maatstaf afgemeten worden. Het enige verschil met de wiskunde is, dat de fysica er rekening mee moet houden dat de waarden van variabelen aan de kant van systeem M in het algemeen gepaard gaan met een marge van onzekerheid. Er blijft dus een verschil tussen de exactheid van model F , en een (zo gering mogelijke) mate van inexactheid van systeem M . Dat betekent binnen de fysica echter geenszins dat 'onzuiverheden' ook om zichzelf van belang geacht worden. In tegendeel, zij moeten op de één of andere manier 'onschadelijk' gemaakt worden²⁶, omdat het ook in de fysica uiteindelijk gaat om de kennis van generieke structuren en gevolgtrekkingen.

- b. Met betrekking tot het bepalen van de eindige set van variabelen die een invariantie kunnen belichamen geldt nog een aanvullende eis. Om gevolgtrekking te kunnen ontdekken moet de onderzoeker ook bepalen welke variabelen hij wil beschouwen als '*onafhankelijke variabelen*' en welke als (kandidaat) '*afhankelijke variabelen*'. De '*onafhankelijke variabelen*' zijn de kenmerken waarvan de onderzoeker wil nagaan of zij gevolgen hebben voor andere kenmerken die in hun waarde afhankelijk zijn van de onafhankelijke variabele. Wanneer uit observaties blijkt dat die andere kenmerken ook veranderen wanneer een gekozen onafhankelijke variabele verandert, dan kan nagegaan worden of en hoe de variatie van die andere variabelen afhankelijk is van de variatie van de onafhankelijke variabele. Strikt genomen zijn die andere variabelen pas echt '*afhankelijke variabelen*' wanneer hun afhankelijkheid is aangetoond.

Neem weer het voorbeeld van onderzoek naar het VVS. De onderzoeker kan om te beginnen 'gewicht' kiezen als onafhankelijke variabele. Hij laat dan voorwerpen van verschillend gewicht vanaf een vaste hoogte vallen²⁷ om te zien of dit gevolgen heeft voor de waarden van de 'eindsnelheid' en de 'valtijd'. Wanneer dan blijkt dat die laatste waarden (binnen de grenzen van nauwkeurigheid) niet verschillen, dan kan hij de conclusie trekken dat de variabelen 'eindsnelheid' en 'valtijd' niet afhankelijk zijn van de variabele 'gewicht'. Wanneer hij vervolgens 'starthoogte' als onafhankelijke variabele kiest, en voorwerpen vanaf verschillende hoogtes laat vallen, dan blijken de waarden van 'eindsnelheid' en 'valtijd' wel te variëren met de gekozen 'starthoogte'. Om de vermoede afhankelijkheid (c.q. gevolgtrekking) werkelijk aan te tonen is het in de fysica dan de volgende opgave om formules te vinden, die de relatie tussen onafhankelijke en afhankelijke variabelen mathematisch beschrijven, en op basis waarvan toetsbare voorspellingen gedaan kunnen worden.

²⁶ Het voert te ver om hier in te gaan op alle verschillende manieren waarop dit 'onschadelijk maken' gerealiseerd kan worden.

²⁷ Het is immers niet verstandig om vanaf het begin zowel 'gewicht' als 'starthoogte' te variëren, omdat dan niet duidelijk kan worden of de kandidaat afhankelijke variabelen afhankelijk zijn van één van beide onafhankelijke variabelen, of eventueel van allebei.

De praktijk van fysisch *experimenteren* wordt geheel door het bovenstaande gemotiveerd. Galileï wachtte bijvoorbeeld niet af tot er weer eens iets viel, maar hij construeerde zelf actief steeds nieuwe instanties van een VVS, om die instanties tot voorwerp van observaties en metingen te kunnen nemen. Zo gaat het bij ieder fysisch experiment om het construeren van instanties van een generiek voorwerp van onderzoek, waarbij de onderzoeker de onafhankelijke variabelen kan laten variëren op een manier die hem voor zijn onderzoek de gewenste informatie oplevert²⁸.

3 TWEE SOORTEN VAN GEVOLGLIJKHEID

Een belangrijk deel van de vraag, die aanleiding gaf tot voorafgaande paragrafen (zie pagina 322), is nog niet beantwoord. De vraag naar de specifieke aard van de 'causale gevolglijkheid', die onderzoek naar mechanismen aan het licht brengt, is nog niet aan de orde gekomen. In de nu volgende paragraaf zal ik op deze vraag ingaan, in hoofdzaak aan de hand van de klassieke newtoniaanse mechanica.

Men kan de opgave die Newton met zijn theorie wilde vervullen formuleren als: *kan men modellen ontwikkelen van systemen-in-beweging (onafhankelijk van de vraag of die zich op aarde dan wel aan de hemel bevinden), die het mogelijk maken om een logica in de toestandsovergangen van die systemen te herkennen, om zodoende het toestandsverloop van deze systemen te begrijpen, en te kunnen voorspellen?*

Met de laatste toevoeging wil ik benadrukken dat voor Newton en zijn tijdgenoten het vermogen om te kunnen voorspellen als een belangrijke toetssteen gold voor de kwaliteit van het 'begrijpen'. In navolging van o.a. Toulmin (1967) lijkt het mij dat het toetsen van begrip via voorspellingen voor de 17^e-eeuwiers vanzelfsprekend was, op grond van de lange traditie van de mathematische astronomie waar zij op voortbouwden. In de bewegingen van de hemellichamen hadden mathematici al eeuwenlang patronen herkend, die op hen de indruk maakten van een volkomen gedetermineerd noodzakelijk verloop. Patronen, die nauwkeurige beschrijvingen in mathematische modellen toelie-

²⁸ Evenals het herhaalbaar reproduceren van een voorwerp van onderzoek (pagina 331), zal ook het experimenteren in sommige gevallen om grote investeringen in zorgvuldigheid, vernuft en geld vragen. Denk bijvoorbeeld aan de investeringen in deeltjesversnellers, waarbij men deeltjes op elkaar wil laten botsen met gericht gekozen hoeveelheden botsingsenergie. Bij sommige objecten van onderzoek zijn experimenten daarom ook (nog) niet mogelijk, omdat dit technisch of financieel (nog) niet haalbaar is.

ten, en die zodoende ook nauwkeurige lange-termijn voorspellingen mogelijk maakten²⁹. In die traditie paste het ideaal om één theorie te ontwikkelen, die de gedragingen van aardse systemen zou verklaren volgens dezelfde 'wetten' als hemelse systemen, én die zodoende ook aardse systemen voorspelbaar zou maken, zoals de hemelse systemen dat al veel langer waren.

Rosen geeft een nauwgezette uitwerking van de eisen aan modelvorming die dit ideaal voor Newton en zijn navolgers met zich meebracht (a.w., hoofdstuk 4). De eerste eis komt voort uit het vraagstuk, hoe men op basis van het registreren van toestanden op verschillende momenten in het verleden tot voorspellingen kan komen over toekomstige toestanden. Wanneer men immers toestanden registreert aan de hand van toestandsvariabelen (zoals plaats en snelheid) dan heeft men niet meer in handen dan een aantal verzamelingen getallen die de toestanden beschrijven op t_1, t_2, t_3, \dots enzovoorts. Het kan eenvoudig aangetoond worden dat een dergelijke verzameling 'kronieken', hoe groot die ook moge zijn, altijd verschillende mogelijke voortzettingen heeft, en dus geen eenduidige voorspelling toelaat. Naast een dergelijke verzameling kronieken is er nog iets meer nodig om eenduidige voorspellingen mogelijk te maken. Het kan mathematisch aangetoond worden dat dit 'meerdere' impliceert, dat de relatie tussen de toestandsvariabelen en de tijd voorgesteld moet kunnen worden als een 'rekenoperatie', die de toestandswaarden van iedere kroniek kan berekenen op grond van toestandswaarden van voorafgaande kronieken. In het vorige deel hebben we deze eis al leren kennen onder de naam '*recursiviteit*' (hoofdstuk 6, § 1; hoofdstuk 7, § 4). Met andere woorden: de wiskundige voorstelling die de gevolgbijheid in de tijds-kronieken weergeeft (een 'functie' ofwel 'afbeelding') moet voldoen aan de eis van recursiviteit³⁰.

De volgende vraag is dan, hoe men in de situatie van een systeem-in-beweging aan deze eis van recursiviteit zou kunnen voldoen. Zoals ik hierboven al genoemd heb (pagina 327) komt het mathematische antwoord op dit vraagstuk erop neer dat de rij van de variabelen snelheid, versnelling, versnelling van versnelling, ..., enzovoorts, niet

²⁹ Toulmin merkt op dat het historische gegeven, dat de bewegingen van hemellichamen de eerste studieobjecten vormden aan de hand waarvan de mathematische fysica zich ontwikkelde, van grote invloed geweest kan zijn. Het zonnestelsel vormde in zekere zin een té mooi voorbeeld. De overeenkomst tussen geobserveerde systemen en mathematische modellen maakte, binnen de nauwkeurigheid van waarnemingen die toen mogelijk was, een exacte indruk, en maakte bovendien indrukwekkende lange-termijn voorspellingen mogelijk (1967, pp. 144-145).

³⁰ Dat wil zeggen dat die voorstelling (een wiskundige functie ofwel 'afbeelding') niet direct de vorm van zo'n recursieve operatie hoeft te hebben, maar wel door een equivalente recursieve operatie vervangen moet kunnen worden. En, zoals in deel II al gemeld is (hoofdstuk 6, § 1.a), niet iedere wiskundige afbeelding voldoet aan die eis.

oneindig mag zijn³¹. Zoals ik eerder al aangaf (pagina 327) kwam daarom het inzicht dat in deze rij van variabelen de versnelling als *omgevingsvariabele* aangemerkt kon worden, bijzonder goed van pas. Dit inzicht opende een aantrekkelijk perspectief op het eindig maken van de rij van variabelen die gemeten moeten worden, en op het voldoen aan de eis van recursiviteit. Op grond van deze bij Galileï begonnen ontwikkeling zetten Newton en zijn navolgers de stap om de omgeving van een dynamisch systeem op te vatten als een 'versnellingsveld'. De tweede hoofdwet van de newtoniaanse mechanica³² $F=m.a$ doet in dat verband een uitspraak die nog steeds tegen onze dagelijkse intuïtie ingaat. Deze zegt namelijk: wanneer in een versnellingsveld de versnelling gelijk is aan a , dan is er een variabele m die aangeeft hoe 'gevoelig' een voorwerp is voor de versnelling van het veld, en die 'gevoeligheid' noemen we *massa*. Daarom zal een voorwerp met een grotere massa in een dergelijk veld ook een grotere '*zwaarte-kracht*' (= gewicht) manifesteren. De mate van die kracht stellen we gelijk aan het product van massa en versnelling.

De taaiheid van de oude voorstellingen blijkt uit het feit dat veel mensen nog steeds denken dat de 'zwaarte' van een voorwerp de oorzaak is van het vallen, en dat zwaardere objecten dus sneller vallen. En daarom is het voor leraren natuurkunde nog steeds een hele toer om de falsificatie (door Galileï en Newton) van de aristotelische visie op deze gevolglijkheid voor leerlingen aannemelijk te maken.

Recursiviteit is dus een wezenlijk kenmerk van de modus van gevolglijkheid die in de loop van de hierboven geschetste ontwikkelingen steeds scherper werd gearticuleerd. *Het enige dat een toestand tot gevolg kan hebben is een volgende toestand, en het enige dat een toestand kan veroorzaken zijn voorafgaande toestanden* (a.w., p. 133). Samen met de klassieke mechanica heeft dit 'klassieke' causaliteitsbegrip zich een vaste plek in de wereld van wetenschap en onderzoek verworven. Sindsdien geeft de bovenstaande gecursiveerde zin een heldere formulering van wat wij gewoonlijk onder 'causaliteit' verstaan. Zoals ik aan het begin van dit hoofdstuk al aangaf (pagina 322) betekende deze opvatting een inperking van de oude aristotelische opvatting van causaliteit. Met name de '*causa finalis*' was het slachtoffer van de mechanistische reductie (a.w., p. 48-49, 133).

Naast recursiviteit heeft de causaliteit van mechanismen nog een belangrijk tweede kenmerk. Ook dat tweede kenmerk is goed toe te lichten aan de newtoniaanse mechanica. Het uitgangspunt van deze mechanica is de beschouwing van het meest eenvoudige bewegende systeem: de beweging van één puntmassa in een lege omgeving. Vervolgens wordt de mogelijkheid meegenomen dat de omgeving niet leeg is, en dat een puntmassa

³¹ Dit wiskundige inzicht berust op de stelling van Taylor. Deze stelling is in feite van later datum (1715) dan de '*Principia*' (1687) van Newton. Dit klopt echter met het historische gegeven dat de wiskundig exacte uitwerkingen, van de deels intuïtieve en deels onsystematische uiteenzettingen van Newton, pas later door anderen ontwikkeld werden (E. J. Dijksterhuis, 1975, p. 512).

³² Die net als de eerste hoofdwet in feite het karakter heeft van een axioma.

zich beweegt in een 'gravitatieveld' (de officiële naam van wat ik hierboven een 'versnellingsveld' noemde). Weer een stap verder wordt het beschouwde systeem uitgebreid tot twee puntmassa's die zich in elkaars gravitatieveld bevinden, en die zich samen in een al dan niet lege omgeving bevinden. Zodoende kan men modellen ontwikkelen voor 'tweelichamen systemen', zoals een aarde-maan systeem of een zon-planeet systeem. Aan deze opbouw ligt de oude atomistische aanname ten grondslag *dat de kennis van een geheel opgebouwd kan worden uit kennis van de elementaire delen waaruit dat geheel is samengesteld*³³. De klassieke mechanica maakte al heel veel indruk door het waarmaken van deze aanname bij de opbouw van een twee-lichamen systeem uit twee één-lichaam systemen.

De stap naar drie-lichamen systemen bleek echter wiskundige problemen op te leveren, in de vorm van differentiaalvergelijkingen³⁴, die men niet kon oplossen. De moeilijkheid van het oplossen van deze vergelijkingen leidde ertoe dat het probleem een grote faam kreeg en bekend werd als het 'drielichamenprobleem'. Het oplossen van dit probleem werd vooral gezien als een eerste stap naar een meer algemene strategie om 'meer-dan-tweelichamen-problemen' op te kunnen lossen. Het belang van een dergelijke algemene strategie kwam met name voort uit de behoefte om conceptueel vat te krijgen op de dynamica van het zonnestelsel als geheel. Aan het einde van de 19^e eeuw waren deze problemen nog steeds niet opgelost en er waren stemmen die beweerden dat men misschien wel moest twijfelen aan de stabiliteit van het zonnestelsel. Als een meerlichamen-systeem zó complex is dat de vergelijkingen die haar gedrag beschrijven voor ons onoplosbaar zijn, hoe kunnen we er dan zeker van zijn dat ons zonnestelsel zich altijd zo stabiel blijft gedragen als het tot nu toe heeft gedaan? Is er een verstoring van de huidige stabiliteit denkbaar die veroorzaakt dat bijvoorbeeld één van de planeten in de zon stort of uit het zonnestelsel wordt weg-gelanceerd? In de context van deze vragen werd aan het einde van de 19^e eeuw een prijsvraag uitgeschreven door Oscar II, koning van Zweden en Noorwegen. De opgave voor deze prijsvraag kwam erop neer dat van de inzenders een mathematisch onderbouwd antwoord werd verwacht op de gerezzen vragen naar de stabiliteit van het zonnestelsel. Poincaré begon eerst maar eens met het drielichamenprobleem en won de prijsvraag. Zijn bijdrage bevatte het bewijs dat de differentiaalvergelijkingen van het drielichamenprobleem *niet volgens de bekende methoden van wiskundige analyse opgelost konden worden* (Stewart & Stillwell, 2012b). Een wezenlijk probleem van deze vergelijkingen werd later benoemd als 'gevoelige afhankelijkheid'. Met 'gevoelige afhankelijkheid' wordt bedoeld dat een minimaal ver-

³³ Met deze aanname staat de klassieke mechanica in de invloedrijke atomistische traditie die met Democritos en Leukippos begon (E. J. Dijksterhuis, 1975, pp. 7-13).

³⁴ Eenvoudig gezegd: vergelijkingen waar 'veranderingsvariabelen' zoals 'snelheid' of 'versnelling' in verband met elkaar gebracht worden. Deze vergelijkingen kunnen problemen opleveren omdat zij niet allemaal met behulp van de tak van wiskunde die 'analyse' heet opgelost kunnen worden (Stewart & Stillwell, 2012a).

schil in begintoestand (waarbij de grootte van het verschil tot nul kan naderen) tot grote verschillen in latere toestanden kan leiden. Met andere woorden: het wiskundige model dat in deze differentiaalvergelijkingen belichaamd is, impliceert dat een drielichamen systeem op bepaalde momenten volkomen instabiel kan zijn. Wanneer het systeem in zijn toestandsverloop een dergelijke instabiele toestand bereikt, dan kan volgens de theorie in het geheel niet voorspeld worden wat de volgende toestand zal zijn. In theorie kan het systeem dan verschillende kanten op zonder dat men kan voorspellen welke kant het zal zijn³⁵. Deze mogelijkheid van instabiliteit geldt overigens niet alleen voor drielichamen systemen, maar voor alle 'meer-dan-twee-lichamen systemen'. Dus ook voor ons zonnestelsel! Latere studies hebben echter tot de conclusie geleid dat de structuur van ons zonnestelsel zodanig is, dat de kans op verstoringen die ernstige instabiliteit kunnen veroorzaken zeer klein is. In het algemeen worden verstoringen gedempt in plaats van versterkt. Zo gezien hebben we geluk gehad met ons zonnestelsel.

Figuur 5

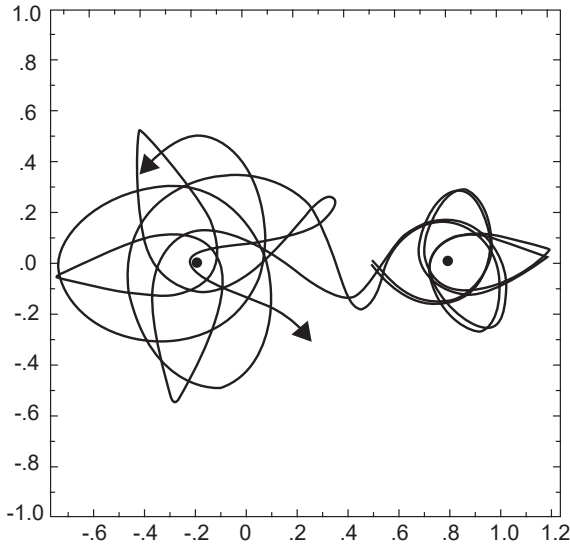


De theorieën van Poincaré en anderen hebben bovendien de weg gebaad voor nieuwe wiskundige methoden die het, met behulp van krachtige computers, in bijna alle gevallen mogelijk maken om oplossingen van deze differentiaalvergelijkingen met grote nauwkeurigheid te benaderen. Wat blijft is de moeilijkheid, dat een minimale marge van onzekerheid, die onvermijdelijk met het 'fundamentele meetprobleem' verbonden is (zie pagina 334), onder de omstandigheden die dicht bij een instabiele toestand heersen, zo sterk uitvergroot kan worden dat een ruime marge van onvoorspelbaarheid het resultaat is. In figuur 6 (Broer, Craats, & Verhulst, 1995, p. 93) is weergegeven hoe een kunstmatige satelliet zich onvoorspelbaar kan bewegen in het gravitatieveld van twee planeten (de twee zwarte stippen). Een minimaal verschil in uitgangssituatie leidt tot zeer verschillende banen van de satelliet (de twee banen die eindigen op pijlpunten). Dezelfde theorieën die deze onvoorspelbaarheid voorspellen kunnen echter ook gebruikt worden om de meest instabiele situaties te vermijden. Bovendien worden satel-

³⁵ Deze instabiliteit is te vergelijken met de situatie van een mathematisch zuivere kegel die op zijn punt in een homogeen gravitatieveld staat (figuur 5). De grootte van een verstoring die de kegel doet omvallen kan naderen tot oneindig klein. Deze tot 0 naderende kleinheid van een mogelijke verstoring impliceert dat niet voorspeld kan worden naar welke kant de kegel zal omvallen (Bishop, 2009, p. 3).

lieten uitgerust met sensoren en stuurprogramma's zodat zij automatisch afwijkingen van een geplande koers kunnen corrigeren. Zodoende is men tegenwoordig in staat om een ruimtevaartuig door ingewikkelde gravitatievelden heen te navigeren en precies te doen uitkomen op een gewenste plaats binnen ons zonnestelsel (Stewart & Stillwell, 2012b).

Figuur 6



De moraal van deze geschiedenis is dat de mechanica, ondanks de problemen die de oude atomistische aanname haar opleverde, en ondanks de deuk die het geloof in voorstelbaarheid heeft opgelopen³⁶, toch aan deze aanname heeft vastgehouden³⁷. Wanneer ik deze aanname nu herformuleer in de termen van moderne mechanica, dan komt zij erop neer *dat de toestandsveranderingen van een systeem als geheel afgeleid kunnen worden uit de toestandsveranderingen van de elementaire delen van het systeem*. Of, in termen van modellen: *het model dat de toestandsveranderingen van het geheel beschrijft kan formeel afgeleid worden uit de modellen die de toestandsveranderingen van de elementaire delen van het systeem beschrijven* (a.w., p. 209). Het model van het geheel is een logische synthese van de deelmodellen. Daarom benoemt Rosen dit kenmerk als '*synthetische modelvorming*' (a.w., hoofdstuk 6).

³⁶ Voor meer hierover zie hoofdstuk 12 (§ 5), waarin ik verder zal ingaan op de rol van toeval in de klassieke mechanica.

³⁷ Op gezag van Rosen, die als bioloog zeer goed bekend was met scheikunde, neem ik aan dat deze karakterisering niet alleen voor de klassieke natuurkunde opgaat, maar ook voor de klassieke scheikunde.

Het zijn dus twee hoofdsoorten van gevolgljkheid die samen de mechanistische causaliteit karakteriseren:

- de *recursieve gevolgljkheid* in de tijd, en
- de *synthetische deel-geheel gevolgljkheid*.

Een mechanisme is dus: *een observeerbaar dynamisch systeem, voor zover het modelvorming toelaat die de twee kenmerken heeft van recursiviteit en synthetische opbouw.*

HOOFDSTUK 12

Eerste historische gevolgen

De invloed die de klassieke fysica vanaf de 17^e eeuw op vele gebieden uitoefende is het thema van dit hoofdstuk.

Vele onderzoekers, die aan de wieg stonden van deze nieuwe wetenschap, stonden in de traditie van het mathematisch essentialisme. Hun successen versterkten het gedachtengoed van deze traditie, en breidden het bovendien uit met het idee dat het aan de mens (met name aan fysici) gegeven is om 'zuiver objectief' te observeren. Zo ontstond de breed gedeelde overtuiging dat een menselijke fysicus de natuurlijke werkelijkheid vanuit een 'buitenstandpunt' kan observeren en kennen, omdat zijn 'objectief-logische' benadering nauw verwant is aan het goddelijke 'buitenstandpunt' van de Schepper.

Het cartesisaanse dualisme van de 'twee substantieeler' zette deze essentialistische mens- en wereldbeelden in een passend filosofisch kader. Het volledig deterministische natuur- en wereldbeeld vormde eveneens een aantrekkelijke en vanzelfsprekend lijkende consequentie van deze ontwikkelingen in wetenschap en filosofie.

Einde 19^e en begin 20^e eeuw werd dit breed gedeelde natuurbeeld aan het wankelen gebracht door ontwikkelingen in de fysica die noodzaakten om te accepteren dat 'toeval' een fundamenteel aspect is van de natuur, zoals die zich fysisch laat kennen. De acceptatie van fundamenteel toeval noodzaakte tot het matigen van volledig determinisme tot 'kans-determinisme', het accepteren van 'onomkeerbare tijd', van niet-één-op-één werkende causaliteit, en van gedeeltelijke onvoorspelbaarheid. Die acceptaties noodzaakten echter niet om de basisprincipes van fysisch onderzoek bij te stellen. Fysica kon 'mechanisme-wetenschap' blijven.

De blijvende identificatie van dé natuur met het fysische natuurbeeld leidde in brede kringen tot het dualisme van enerzijds het geloof in een functieloze en betekenisloze natuur, en anderzijds het geloof in een mens-zijn dat essentieel op waarde en betekenis georiënteerd is en daarom deels buiten de natuur valt.

Tenslotte wordt geschetst hoe de ontwikkeling van technologie in dit dualisme ingepast kan worden, en hoe dit dualisme leidt tot de uiteenstelling van 'cultuur' en 'natuur', die vermoedelijk ten grondslag ligt aan de ecologische crisis.

De newtoniaanse mechanica heeft veel gevolgen gehad voor de ontwikkeling van de natuurwetenschappen, voor de ontwikkeling van wetenschap in het algemeen, en voor het algemene wereldbeeld binnen de culturen waar deze wetenschapsontwikkeling

invloed op had³⁸. Van alle aspecten die eraan bijdroegen dat deze tak van wetenschap in zijn tijd, en lang daarna, zo'n indruk maakte en zoveel invloed uitoefende noem ik er hier slechts drie:

- De streng-mathematische, axiomatische opbouw van deze mechanica maakte veel indruk, omdat deze tegemoet kwam aan het klassieke ideaal van exacte en zekere wetenschap.
- Daar kwam bij dat wiskundigen er na ruim 2000 jaar eindelijk in geslaagd waren om concepten van 'beweging' en 'verandering' mathematisch te formaliseren, en deze nieuwe wiskunde bleek het in betrekkelijk korte tijd mogelijk te maken om nauwkeurig kloppende 'bewegingswetten' te formuleren.
- In de derde plaats maakte de *unificatie* van wetenschapsgebieden die tot dan toe gescheiden waren veel indruk. De nieuwe mechanica bracht zowel de drie wetten van Kepler, die de nieuwste ontwikkelingen in de astronomie vertegenwoordigden, als de revolutionaire valwetten van Galilei (pagina 325) onder in één eenvoudig samenhangend systeem.

1 GENERALISERINGEN VAN HET CONCEPT 'MECHANISME'

Voor de ontwikkeling van de fysica zelf was één van de eerste gevolgen, dat in de fysische gemeenschap de mechanica en haar methode tot algemene norm voor fysische wetenschap verheven werd. Dit kan men de *eerste* generalisering noemen. Nagel (1974, p. 154) illustreert dit aan welsprekende citaten uit de 17^e eeuw van Huygens³⁹, en uit de 20^e eeuw van Herz⁴⁰. Fysische wetenschap werd in haar geheel mechanisme-wetenschap, volgens de definitie van 'mechanisme', die aan het einde van het vorige hoofdstuk geformuleerd werd. Ook de opkomst van het kans-begrip bracht daarin geen principiële verandering, zoals in § 5 zal worden toegelicht. Die opkomst dwong slechts om het geloof in een aantal 'bijkomende kenmerken' op te geven, waarvan men aanvankelijk ten onrechte dacht dat die wezenlijk voor mechanismen zouden zijn. De definitie van een mechanisme, die op pagina 343 is weergegeven, en die aan Rosen ontleend is, is bij voor-

³⁸ En omgekeerd kunnen er uiteraard allerlei cultuur-historische condities genoemd worden die de ontwikkeling van deze mechanica mogelijk maakten en bevorderden. Deze historische interacties vormen het thema van een uitgebreide literatuur. Hier verwijs ik slechts naar (E. J. Dijksterhuis, 1975) en (van der Wal, 2011).

³⁹ "*In true Philosophy one conceives the cause of all natural effects in terms of mechanical motions. This, in my opinion, we must necessarily do, or else renounce all hopes of our comprehending anything in Physics*".

⁴⁰ "*All physicists are unanimous in holding that the task of physics is to reduce the phenomena of nature to the simple laws of mechanics*".

baat al ontgaan van deze 'bijkomende kenmerken'. Zodoende is er een definitie overgebleven die geldt voor de gehele klassieke fysische wetenschap.

Maar, velen voerden de generalisering van het concept 'mechanisme' nog verder door, in een mate die men achteraf als reductionistisch kan kwalificeren. In de eerste plaats moet de opvatting genoemd worden, dat de inperking tot mechanismen in feite geen inperking is. Dit kan de *tweede* generalisering genoemd worden. Velen gingen er op den duur van uit dat de enige betrouwbare kennis die men van dé natuur kan ontwikkelen, kennis van mechanismen is. Volgens Rosen hangt dit reductionisme nauw samen met het gebruik, dat na de ontwikkeling van de klassieke mechanica steeds gangbaarder werd, om het begrip 'Natuurwet' te identificeren met mechanisme-modellen (a.w., pp. 90, 103, 242). Wanneer dan bovendien gesteld wordt dat fysica dé wetenschap is die natuurwetten ontdekt, dan is al snel de suggestie gewekt dat de natuur van de natuurkunde dé natuur is.

En tenslotte moet natuurlijk de meest vergaande generalisering genoemd worden, namelijk dat alle wetenschappelijke kennis die de moeite waard is, ook buiten de fysica, betrekking moet hebben op mechanismen. Deze *derde* generalisering impliceert dat alle wetenschappelijk kenbare aspecten van de werkelijkheid in essentie het karakter van mechanismen hebben⁴¹. Rosen betoogt uitvoerig dat de reductie tot mechanismen zijn voortzetting vindt in de reductie tot machines, aangezien machines ook mechanismen zijn, maar dan in de vorm van functionele systemen die precies als een mechanisme functioneren (a.w., hoofdstuk 8). Zo beschouwd liggen de reducties van levende organisaties tot machines, binnen wetenschappen zoals biologie, sociologie en psychologie, geheel in het verlengde van deze generalisering⁴².

De 17^e-eeuwse vernieuwingen, waardoor het mechanisme-concept maatgevend voor de fysische wetenschap werd, en waardoor dit concept door velen ook opgevat werd als (min of meer) maatgevend voor het denken over natuur en werkelijkheid in het algemeen, gaven aanleiding tot fundamentele levensbeschouwelijke discussies. De nieuwe fysica werd in brede kringen ervaren als onverenigbaar met de oude, uit de middeleeuwen geërfde, mens- en wereldbeelden. Die onverenigbaarheid leidde enerzijds tot verzet, maar inspireerde anderzijds velen tot het formuleren van creatieve en vaak uitdagerende consequenties voor het algemene mens- en wereldbeeld. Daarbij moet aangetekend worden dat de meesten die dergelijke consequenties formuleerden zich niet bewust waren van het modelkarakter van de newtoniaanse fysica. In plaats van zich te realiseren dat de natuurkunde zich *beperkt* tot het onderzoek van mechanismen, gingen

⁴¹ Nagel (1974, p. 154) illustreert deze opvatting met een citaat van Painlevé uit 1909: "*Mechanics is the necessary foundation for the other sciences, to the extent at any rate that these latter wish to be precise*"

⁴² In deel II (hoofdstuk 6, §§ 2.a en 3.b; en hoofdstuk 7, § 7) zijn de supporters van 'strong artificial intelligence' aan de orde gekomen als vertegenwoordigers van dit reductionisme.

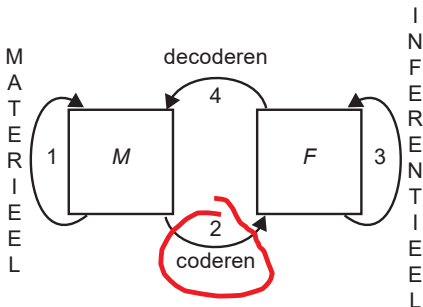
vele 'modernen' uit van de hierboven genoemde tweede generalisering (en vaak ook nog van de derde generalisering). In de volgende paragrafen zal ik enkele invloedrijke voorbeelden van deze consequenties beschrijven⁴³.

2 ZUIVER OBJECTIEVE OBSERVATIE

De opkomst van de mathematische mechanica ging samen met toenemende erkenning van het belang van feitelijke observatie. Het was bijvoorbeeld een schokkende ervaring, dat men eeuwenlang had aangenomen dat voorwerpen sneller zouden vallen naar rato van hun gewicht (zonder dat iemand ooit de moeite had genomen om dit aan feitelijke waarnemingen te toetsen) en dat deze aanname geheel onjuist bleek, zodra een onderzoeker zoals Galileï wel die moeite nam (zie pagina 325). De vele andere voorbeelden die daarna volgden maakten dat het belang van observaties steeds meer werd ingezien.

2.a Primaire en secundaire kenmerken

Figuur 7



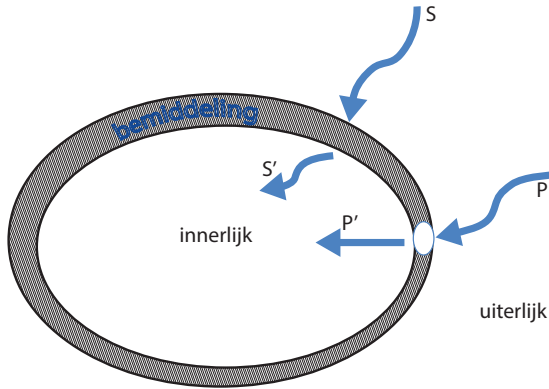
Deze ontwikkeling maakte dat er ook steeds meer werd nagedacht over de aard en de problematiek van pijl 2 (figuur 7). De kern van deze problematiek kan toegelicht worden aan de gedachtegang van René Descartes (een tijdgenoot van Galileï). Deze gedachtegang begint bij de constatering dat *M* en *F* tot verschillende 'werelden' behoren. *M* behoort tot de 'uiterlijke wereld' waarin zich de materiële systemen bevinden die voorwerp zijn van fysisch onderzoek. Systemen die ik kan waarnemen, maar die anderen ook kunnen waarnemen, zodanig dat wij onderling waarnemingen kunnen uitwisselen, vergelijken en verbeteren. *F* behoort daarentegen tot de 'innerlijke wereld' waar zich mijn gewaarwordingen, emoties, herinneringen, associaties, fantasieën, en ook mijn wetenschappelijke voorstellingen en verklaringen afspelen. Descartes vat al deze innerlijke

⁴³ Voor het overige zij verwezen naar de omvangrijke literatuur over dit onderwerp. Voor een recent overzicht verwijs ik naar (van der Wal, 2011).

processen samen in de term '*cogitationes*'. Om te weten wat ik 'van binnenuit' ervaar is de ander afhankelijk van mijn 'rapportage', als onmisbare aanvulling op zijn waarnemingen. Met deze beschouwingen heeft Descartes de vinger gelegd bij een *dualiteit* waarvan nog steeds erkend wordt dat die verbonden is met kennisontwikkeling en onderzoek. Om het nu in de termen van Rosen te formuleren: pijl 2 impliceert dat wij iets dat uit de 'uiterlijke wereld' afkomstig is *importeren* in de 'innerlijke wereld' (a.w., p. 41).

Om duidelijk te maken hoe Descartes en andere 17^e-eeuwers over deze dualiteit nadachten dient figuur 8. Stel dat S een kenmerk is van een uiterlijke entiteit, en dat S' de gewaarwording is die dit kenmerk mij innerlijk oplevert. Tussen S en S' zit in ieder geval de bemiddeling door mijn lichamelijke (zintuiglijke) vermogens. Bijvoorbeeld: ik zie de bladeren van een boom als 'groen', maar dát ik hen als 'groen' zie is het gevolg van een *inwerking* op mijn lichaam die kennelijk zodanig wordt *verwerkt* (c.q. *geïnterpreteerd*) dat ik het als 'groen' ervaar. De vraag die dit oplevert is: wat weet ik nu eigenlijk van S op grond van mijn gewaarwording als S'? Wanneer ik zou willen weten wat het in de uiterlijke wereld geweest is dat mij de gewaarwording van 'groen' heeft bezorgd, dan zou ik die bemiddeling precies moeten kennen. En natuurlijk doen we daar ook onderzoek naar. We analyseren het oog als orgaan, we observeren dat daar een lens en een netvlies deel van uitmaken, en dat er zenuwdraden zijn die kennelijk informatie naar de hersenen transporteren. Maar, het probleem blijft dat de bemiddeling, zoals we die *tot object van onderzoek maken*, weer alleen kenbaar is dankzij diezelfde zintuiglijke bemiddelingen, die nodig zijn om dit tot-object-van-onderzoek-maken mogelijk te maken. Descartes concludeerde dat wij strikt genomen over de relatie tussen S en S' *geen enkele zekerheid hebben*. Strikt genomen zou het heel goed zo kunnen zijn dat de innerlijke voorstellingen die wij van de uiterlijke wereld hebben ons voor de gek houden. Het is denkbaar dat die uiterlijke wereld, zoals zij op-zich bestaat, helemaal niet lijkt op de voorstellingen die wij er innerlijk van hebben. Om uit de impasse van deze twijfel te komen gebruikte Descartes een redenering die op het volgende neerkomt: wanneer onze voorstellingen van de externe wereld ons totaal zouden bedriegen, dan zou dat betekenen dat God ons expres geschapen zou hebben met zintuigen die ons bedriegen. Zo is God niet, want God is goed, en dus mogen we ervan uitgaan dat we ons via onze zintuigen correcte voorstellingen van de externe wereld kunnen vormen (Watson, 2012).

Figuur 8



Vervolgens is het dan de vraag wélke zintuiglijke waarnemingen een correcte weergave van de uiterlijke wereld opleveren. Het is immers duidelijk dat er ook incorrecte en subjectief gekleurde zintuiglijke waarnemingen zijn. De 17^e-eeuwers die bij de opkomst van de mathematische mechanica betrokken waren, zoals Galileï en Descartes, geven hierop als antwoord dat het met name de observaties zijn die als data voor de mechanica gebruikt worden, die als 'zuiver objectief' aangemerkt moeten worden (van Helden, 2012; Watson, 2012). De mechanica werd door hen dus gezien als het 'godsgeschenk' dat ons in staat stelt om uiterlijkheid te leren kennen zoals die werkelijk is. Wanneer wij aan externe objecten kenmerken waarnemen zoals 'aantal', 'grootte', 'geometrische vorm', en 'beweging', dan kunnen we ervan overtuigd zijn dat dit kenmerken zijn van externe objecten zoals die op-zich zijn. Alle andere kenmerken zoals kleur, geur, geluid, mooi, lelijk, en zo voorts, zijn wél het resultaat van de interpretatie van een externe prikkel door ons bemiddelende organisme, of door andere innerlijke 'cogitationes', en resulteren dus in een impressie die door deze interpretaties vermengd is met inbreng van binnenuit, en die zodoende niet overeenstemt met 'zuiver objectieve' kenmerken van de dingen-op-zich. Wat onze zintuigen betreft komt het erop neer, dat de indrukken die wij opdoen via gezichts- en tastvermogen, met name wanneer de indrukken van die twee vermogens elkaar bevestigen, beschouwd worden als zuivere, directe, onbemiddelde en ongeïnterpreteerde informatie over de uiterlijke wereld op-zich. John Locke heeft deze onderscheiding later bekendheid gegeven als de onderscheiding tussen primaire en secundaire kenmerken (Rogers, 2012). In de termen van de bovenstaande figuur: P' stemt precies overeen met P, terwijl S' vermengd is met interpretatie door het bemiddelende organisme of andere innerlijkheid, en daardoor niet meer een directe weergave is van S. Volgens deze opvatting bevat de lichamelijke-die-wij-zijn als het ware één volkomen transparant 'venster' dat informatie vanuit de 'buitenwereld' direct en onvervormd naar binnen doorgeeft. Dit venster stelt ons in staat om 'zuiver objectief te observeren'.

Het voordeel van een dergelijk venster –als het inderdaad bestaat- is bovendien, dat het ons in staat stelt om ook de bemiddelingen die in secundaire kenmerken resulteren te verklaren. We kunnen dan bijvoorbeeld verklaren dat 'groen' het resultaat is van de inwerking van licht met een bepaalde frequentie op lichtgevoelige cellen in het netvlies, en van het transport van elektrische en chemische prikkels naar de optische cortex, en van de neurale verwerking aldaar van optische informatie. Met andere woorden: we kunnen ook het waarnemen van secundaire kenmerken verklaren als effect van fysisch-chemisch onderzoekbare mechanismen. Ofwel: secundaire kenmerken kunnen herleid (gereduceerd) worden tot primaire kenmerken.

3 SUBSTANTIE TEGENOVER SUBSTANTIE

De aanname dat wij kenmerken van objecten in de uiterlijke wereld kunnen observeren zoals zij op-zich zijn, berust op de onderliggende aanname dat die objecten gekenmerkt worden door een eigen, onafhankelijke bestaanswijze (een eigen op-zich-bestaan). Deze implicatie was ook in de 17^e eeuw duidelijk en vanzelfsprekend. Om daar uitdrukking aan te geven gebruikten zij het klassieke begrip '*substantie*'. Descartes definieerde '*substantie*' als: "*datgene, dat zodanig bestaat dat het niets anders nodig heeft om te kunnen bestaan*"⁴⁴. Descartes stelde daarom dat de objectieve uiterlijke wereld, te kennen aan zijn primaire kenmerken, en door hem kortweg getypeerd als '*res extensa*'⁴⁵, een substantieel karakter heeft. Descartes tekende daar nog wel bij aan dat de uiterlijke wereld strikt genomen niet helemaal een substantie is (volgens zijn eigen definitie), omdat zij immers door God geschapen is. Maar goed, eenmaal geschapen heeft zij die zelfstandigheid wel, en daarom mogen we toch stellen dat de '*res extensa*' een substantie is (Arndt, 1998, pp. 521-522).

Maar, de notie van 'zuiver objectief observeren' vooronderstelt evenzeer dat er een observator bestaat. Voor Descartes was het duidelijk dat deze observator een fundamenteel andere bestaanswijze had dan de '*res extensa*'. Het observeren zag hij als één van de 'innerlijke processen' (*cogitationes*) die zich in de 'innerlijke wereld' afspelen. Deze processen beschikken juist niet over kenmerken zoals 'uitgebreidheid' of 'ondoordringbaarheid', zoals de objecten in de uiterlijke wereld. De eigen aard van deze processen typeerde Descartes kortweg als '*res cogitans*'. Zoals bekend was Descartes vervolgens, via zijn twijfel-experiment, tot de conclusie gekomen dat aan het bestaan van deze '*res cogitans*' niet getwijfeld kan worden (Lorenz, 2004, pp. 1521-1522). Uit deze onbetwijfelbaarheid volgde voor Descartes dat ook het bestaan van de '*res cogitans*' een substantieel karakter heeft⁴⁶.

⁴⁴ "... *ita existit, ut nulla alia re indigeat ad existendum*", zie (Lorenz, 2004, pp. 1521-1522).

⁴⁵ Te vertalen als: de dingen die gekenmerkt zijn door uitgebreidheid.

⁴⁶ Met de aantekening dat ook innerlijkheid door God geschapen is (Arndt, 1998, p. 522).

Zo gezien berust de mogelijkheid van zuiver objectieve observatie, en dus ook van zuiver objectieve natuurwetenschap, op het 'tegenover' van twee fundamenteel verschillende 'substanties'.

3.a Gesanctioneerd atomisme

De twee-substantieeler van Descartes formuleerde en versterkte opvattingen die gedeeld werden door een grote meerderheid van denkers en onderzoekers in de 17^e eeuw en daarna⁴⁷. Het was ongetwijfeld één van de overtuigende aspecten van deze filosofie, dat deze moeiteloos verenigbaar was met de atomistische denkwijze die de fysica van de oude Grieken heeft geërfd⁴⁸. Een welsprekend citaat van Newton illustreert hoe het atomisme voor natuuronderzoekers volkomen in de lijn lag van de substantiële aard van de natuur: "*Na al deze beschouwingen is het voor mij waarschijnlijk dat God in het begin van de dingen de materie in massieve, vaste, harde, ondoordringbare en beweeglijke partikels schiep. (...) Opdat derhalve de natuur van bestendige duur zou zijn, moet de verandering van de stoffelijke dingen uitsluitend in de verschillende scheidingen, nieuwe verenigingen en bewegingen van deze permanente deeltjes gelegd worden (...)*"⁴⁹. De substantialiteit van de materiële werkelijkheid werd voor onderzoekers, zoals Newton, belichaamd in de robuuste onveranderlijkheid en ondoordringbaarheid van de elementaire deeltjes waar alles uit bestaat.

3.b Geloof in het zuivere buitenstandpunt

Uit dit citaat spreekt ook dat Newton aanneemt, dat hij in principe in zijn eigen denken een gedachtegang van God de Schepper kan reconstrueren. Ook deze aanname berust op een oude traditie. Zoals ik in deel II al beschreef, interpreteerden de oude Grieken het tijdloze en generieke van mathematisch-logische vormen al als 'eeuwig', 'universeel' en 'zuiver', en daarom als goddelijk (hoofdstuk 4, § 2.b; hoofdstuk 7, § 1; hoofdstuk 9, § 1.b). Het christendom incorporeerde deze noties en zette zodoende deze Griekse traditie voort. Daarom zagen vele onderzoekers, tot in Newtons tijd en daarna, God als een 'Grote Wiskundige', en zichzelf als 'kleine collega-mathematici'. In de lijn van dit denken is het niet vreemd dat onderzoekers zoals Newton ervan uitgingen dat zij de natuur vanuit een buitenstandpunt konden beschouwen, te vergelijken met het buitenstandpunt van God de Schepper. De 'twee-substantieeler' van Descartes bevestigde dit uitgangspunt. De eigen substantialiteit van de menselijke geest verklaarde voor hen waarom de

⁴⁷ Met Spinoza als eigenzinnige uitzondering.

⁴⁸ En die ook de oorsprong en voorloper is van het principe van synthetische modelvorming dat nog steeds actueel is, zie pagina 342.

⁴⁹ Met dank aan Koo van der Wal (2011, p. 73) aan wie ik zowel dit citaat van Newton (Newton, 1952, p. 400) als ook het inzicht in de samenhang tussen atomisme en twee-substantieeler ontleen.

mens als 'geestelijk wezen' niet tot de natuur behoort, en dus ten opzichte van de natuur een buitenstandpunt kan innemen. Op deze wijze verschaft de combinatie van het geloof in zuiver objectieve observatie en het geloof in de twee-substantieeler, aan onderzoekers het vertrouwen dat volmaakt objectieve kennis van de natuur mogelijk is, en dat hun fysica een grote stap in die richting was.

4 VOLLEDIG DETERMINISME

Eén van de meest indrukwekkende levensbeschouwelijke consequenties was het determinisme. Het heersende natuurbeeld van de 'moderne' fysica had eeuwenlang het karakter van een volledig determinisme. De eerste twijfels aan de volledigheid van het determinisme kwamen pas op, toen aan het einde van de 19^e eeuw sommige fysici zich voor het eerst genoodzaakt zagen om in hun natuurbeeld plaats in te ruimen voor toeval.

Een beroemd citaat van Markies Pierre-Simon de Laplace, uit 1814, geeft een karakteristieke formulering van het aanvankelijke deterministische wereldbeeld: "*We kunnen de huidige toestand van het heelal beschouwen als het gevolg van het verleden en als de oorzaak van de toekomst. Als er een intelligentie zou zijn die, op een gegeven moment, alle krachten zou kennen die op de materie inwerken, alsook de exacte situatie van elk onderdeel van alle materie, dan zou deze alle bewegingen van de grootste hemellichamen tot het kleinste atoom kunnen omvatten, en zou er niets meer onzeker zijn voor deze intelligentie; het verleden net als de toekomst worden voor hem zichtbaar gemaakt.*" (1840, pp. 3-4).

Bij deze formulering van het deterministische wereldbeeld wil ik de volgende opmerkingen maken:

- Uit het citaat blijkt dat het hierboven beschreven geloof in het zuivere buitenstandpunt voorondersteld is. Immers, wanneer de denkbeeldige 'intelligentie' die Laplace aanvoert (en die in de literatuur wel aangeduid wordt als 'de demon van Laplace') zich fysiek in de omgeving van het te kennen heelal zou bevinden, dan ontstaan er onoplosbare problemen. De 'demon' zou bijvoorbeeld in zijn berekeningen ook de invloed moeten meenemen die zijn aanwezigheid, in de omgeving van het heelal, op dit heelal uitoefent. Maar, dan bestaat het nieuwe geheel dat de demon zou moeten kunnen doorrekenen uit 'heelal + demon'. En, dan zou die demon behalve over uitputtende kennis van het heelal ook over uitputtende kennis van zichzelf moeten beschikken, en kennis van zijn eigen rekenwerk moeten meerekenen, en de kennis van de kennis van zijn rekenwerk, et cetera, tot in het oneindige. En zo zijn er nog meer onoplosbare problemen te noemen.

De 'demon' van Laplace is dus een geïdealiseerde fysicus die ten aanzien van zijn kennisobject een zuiver buitenstandpunt inneemt omdat hij zelf een substantie is van fundamenteel andere aard dan zijn kennisobject. Omdat deze geïdealiseerde

fysicus zelf niet van materiële aard is (een 'meta-fysische fysicus') kost zijn rekenwerk kennelijk geen tijd en geen energie⁵⁰.

Het lijkt mij van belang om zich te realiseren dat dit determinisme staat of valt mét het geloof in de mogelijkheid van een zuiver buitenstandpunt. De redenering komt immers kort samengevat neer op: omdat een dergelijke demon denkbaar is, daarom is alles wat er in de natuur gebeurt noodzakelijk en eenduidig causaal gedetermineerd. Wanneer een dergelijke 'meta-fysische fysicus' ondenkbaar is, dan is ook de conclusie niet meer gegrond.

- Dit volledige determinisme werd door velen zeer ernstig genomen. Dit bleek bijvoorbeeld uit de discussies die dit volledige determinisme opriep rond het vraagstuk van de 'vrije wil'. Deze discussies vormden bijvoorbeeld voor Immanuel Kant één van de hoofdmotieven voor zijn denkwerk⁵¹. Kennelijk werden de argumenten voor een volledig determinisme als sterk ervaren, inclusief de consequentie dat er dan binnen de natuur geen enkele ruimte bestaat voor noties zoals 'vrijheid' en 'verantwoordelijkheid'. Aan de andere kant heeft juist de kennis van de gedetermineerde natuur geleid tot veel technische mogelijkheden om de natuurlijke werkelijkheid te manipuleren, en heeft de mens ontdekt hoe maakbaar de natuur in veel opzichten is. Onder andere gezien die mogelijkheden en maakbaarheid kunnen 'vrijheid' en 'verantwoordelijkheid' moeilijk ontkend worden. Maar, hoe de natuur tegelijk volledig gedetermineerd én voor de mens maakbaar kan zijn blijft moeilijk te begrijpen.

Het begrip 'determinisme' wordt in de literatuur ook in een betrekkelijke betekenis gebruikt. Men kan er ook mee bedoelen dat een natuurlijk systeem, *voor zover* het als een mechanisme beschreven kan worden, een volkomen vast bepaald toestandsverloop moet vertonen. In feite geeft men daarmee aan dat het determinisme een kenmerk is van de formele beschrijving in het model, en maakt men het voorbehoud dat het onophefbare verschil tussen model en origineel als consequentie heeft dat het volledige determinisme van het model niet even volledig voor het origineel hoeft op te gaan⁵². Een volgende consequentie van dit standpunt is: wanneer het determinisme al niet volledig hoeft op te gaan voor de kunstmatig geïsoleerde systemen die de fysica onderzoekt, dan hoeft het zeker niet volledig op te gaan voor de natuur als geheel.

⁵⁰ Want, wanneer dit rekenwerk wel tijd en energie zou kosten, dan zou dit ook een aantal van die onoplosbare problemen opleveren.

⁵¹ Kant beschouwt de onverenigbaarheid van determinisme en vrijheid als één van de essentiële antinomieën (de derde antinomie) die hij met zijn filosofie wil oplossen. Zie *Prolegomena* § 51 (1979, p. 147).

⁵² Dit standpunt wordt bijvoorbeeld verdedigd door Stephen Toulmin in hoofdstuk 5 van *The Philosophy of Science* (1967, pp. 126-153).

5 KANS-DETERMINISME

In mijn korte beschrijving van de drie- en meer-lichamen-systemen, en van de moeilijkheden van de mathematische modelvorming van deze systemen, is al duidelijk geworden dat de concepten van 'toeval' en 'kans' op den duur door de klassieke mechanica niet vermeden konden worden (pagina 340 e.v.). Zoals Broer e.a. beschrijven (1995) heeft het echter lang geduurd, tot het einde van 19^e eeuw, voordat de fysische gemeenschap verklaringen in termen van kansen begon toe te laten. Een wiskundig instrumentarium om concepten zoals 'kans' en 'toeval' te formaliseren en berekenbaar te maken bestond al sinds de 17e eeuw, dus dat was het probleem niet. Het probleem was, dat men het geïdealiseerde beeld van een volledig gedetermineerde natuur moest opgeven. Aan het einde van dit gedeelte zal ik ingaan op de weerstanden die gepaard gingen met het loslaten van de notie van een volledig determinisme en de acceptatie van kans-determinisme.

Sinds zijn acceptatie heeft de model- en theorievorming rond systemen, die enerzijds geheel aan de wetten van de klassieke mechanica beantwoorden, maar anderzijds toch niet compleet voorspelbaar zijn, een hoge vlucht genomen onder de noemer van 'chaos-theorie'. Volgens Bishop (2009) wordt een chaotisch systeem gekenmerkt door *determinisme, non-lineariteit* en *gevoelige afhankelijkheid*. Om met het laatste te beginnen: 'gevoelige afhankelijkheid' betekent dat, in de omgeving van een instabiele toestand van het 'chaotische systeem', een zeer klein verschil in begintoestand (een verschil dat tot 0 kan naderen) later een groot verschil als gevolg kan hebben. Een veelgebruikte metafoor, die de meteoroloog Lorenz introduceerde, houdt in dat de beweging van een vlinder-vleugel in Argentinië drie weken later een tornado in Texas kan veroorzaken. Het kenmerk van de non-lineariteit hangt hier nauw mee samen, want de gevoelige afhankelijkheid is op haar beurt weer het gevolg van de structuur van het systeem, die zodanig is dat in de buurt van het instabiele moment verschillen niet lineair-proportioneel worden versterkt, maar met een hogere graad van versterking, bijvoorbeeld kwadratisch, of exponentieel. Het voorbeeld van de op zijn top staande kegel (zie pagina 340) is een voorbeeld van non-lineariteit omdat de kegel niet met een constante snelheid omvalt, maar gedurende zijn val versnelt. Het derde kenmerk, het determinisme, betekent dat het model van een chaotisch systeem een synthese is van elementaire deelmodellen, die uit de klassieke fysica afkomstig zijn, en die volledig deterministisch zijn. Maar, zoals ik heb toegelicht voor het geval van drie- en meer-lichamen-systemen (pagina 340-342), kan die synthese leiden tot mathematische structuren die op één of meer punten niet een eenduidig bepaalbare oplossing hebben, en dan te vergelijken zijn met de instabiliteit van een op zijn punt staande kegel (pagina 340). Het voorspelbaarheidsprobleem in de buurt van die instabiele toestanden hangt samen met de minimale verschillen in begintoestand die later een groot verschil kunnen betekenen. Wil men immers in de fysica een begintoestand bepalen, dan moet die gemeten worden, en met elke meting –hoe nauwkeurig ook– is een marge van onzekerheid verbonden. Het kan dus nooit uitgesloten

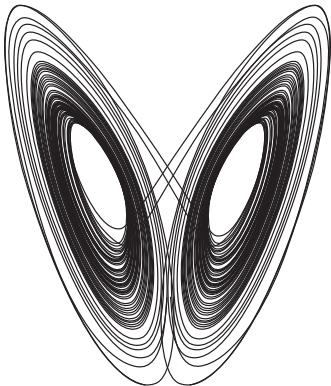
worden dat 'onder de radar' van een meting kleine verstoringen of verschillen onopgemerkt blijven⁵³. Bij een lineair systeem is dat geen bezwaar omdat de marge van onzekerheid in een latere toestand van dezelfde orde van grootte is als de marge in de begin-toestand, en dus een onzekerheid impliceert die in het algemeen acceptabel is. Maar, bij niet-lineaire systemen kan een onmerkbaar verschil in begintoestand versterkt worden tot een verschil dat later in het traject de marges van meetnauwkeurigheid verre overschrijdt, en weer later elke zinnige voorspelbaarheid onmogelijk maakt.

5.a Blijvende voorspelbaarheid

Dat een precieze voorspelling onmogelijk is, wil echter nog niet zeggen dat er helemaal geen voorspelling mogelijk is. Om dit duidelijk te maken neem ik nu het weersysteem als voorbeeld van een chaotisch systeem. Onderstaande conclusies zijn aan onderzoek naar weersystemen ontleend, maar mutatis mutandis ook op andere chaotische systemen van toepassing.

In de eerste plaats kan uit de toestandsvergelijkingen vaak een gebiedsindeling bepaald worden tussen toestandstrajecten die mogelijk zijn, en toestandstrajecten die onmogelijk zijn. Een voorbeeld is te zien in bijgaande figuur (Broer et al., 1995, p. 63). Deze is afkomstig van een vereenvoudigd weermodel dat door Edward Lorenz werd geformuleerd. In dat model werd de toestand van de atmosfeer gerepresenteerd door drie toestandsvariabelen. De figuur is de tweedimensionale 'platte' weergave van een driedimensionale ruimtelijke figuur die de computer maakte van de mogelijke toestandstrajecten. Daaruit blijkt dat die trajecten steeds verlopen op of in de buurt van een 'vlinderachtig' oppervlak.

Figuur 9



⁵³ Op een later moment, wanneer chaotisch toeval met kwantumtoeval vergeleken kan worden, zal ik met behulp van het begrip 'ruis' het bijzondere karakter van chaotisch toeval nog nader verduidelijken. Zie hoofdstuk 13, § 2.b, 'Kwantumtoeval en chaotisch toeval'.

En in de tweede plaats kan uit die toestandsvergelijkingen berekend worden hoe snel de onzekerheid toeneemt van een traject. Dit kennen wij ondertussen allemaal, wanneer wij gezien hebben hoe bij weersvoorspellingen een marge van onzekerheid wordt aangegeven die toeneemt naar mate de weersverwachting verder in de toekomst ligt. En, in de derde plaats kan berekend worden waar de 'voorspelbaarheidshorizon' ligt, dat wil zeggen het moment in de toekomst waarna voorspellen niet meer zinvol is.

Hoewel de precieze ontwikkeling van een chaotisch systeem niet voorspeld kan worden, zijn er dus wel een aantal andere kenmerken van de ontwikkeling van een dergelijk systeem die vanuit het model berekenbaar en voorspelbaar kunnen zijn, zoals:

- de indeling tussen mogelijke en onmogelijke vervolgoestanden,
- de ontwikkeling van vervolgoestanden samen met een berekende toename van de marge van onzekerheid,
- de voorspelbaarheidshorizon.

Ook deze, grotendeels in termen van kansen geformuleerde voorspellingen, kunnen met behulp van statistische procedures en regels getoetst worden, aan een voldoende aantal welgekozen gevallen. Vandaar mijn voorstel om deze afgezwakte vorm van determinisme te benoemen als *kans-determinisme*.

5.b Blijvende principes van modelvorming

Wanneer op deze wijze de mogelijke vervolgoestanden, inclusief marges van onzekerheid, en een voorspelbaarheidshorizon berekend kunnen worden op grond van:

- *recursieve gevolgbijheid in de tijd*, en
- *synthetische deel-geheel gevolgbijheid*,

dan kan men ook systemen die zich chaotisch gedragen tot de klasse van mechanismen rekenen (zie de definitie op pagina 343).

5.c Moeite met kansen

Zoals aan het begin van dit tekstgedeelte werd toegezegd, zal ik nu nog terugkomen op de vraag waarom de fysische gemeenschap zoveel zoveel moeite had met het loslaten van een volledig determinisme en het accepteren van kans-determinisme.

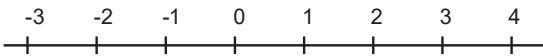
De belangrijkste redenen voor deze moeite zijn in principe al gegeven in het citaat van Laplace dat ik op pagina 353 citeerde. In dit citaat komen we een beeld van de natuur tegen waarin geen enkele plaats is voor toeval. De 17^e-eeuwse fysici, maar ook vele anderen in de eeuwen daarna, koesterden dit natuurbeeld uit diepe overtuiging en waardering. De overtuigings- en aantrekkingskracht van dit beeld hingen samen met de consequentie dat een natuur die volledig gedetermineerd is, ook volledig overeenstemt met het wiskundige denken van de fysici van die tijd, en met de volledige zekerheid die men (toen nog) van dit denken verwachtte. Die zekerheid moest zich bewijzen in voorspelbaarheid (*predictie*), maar ook in de mogelijkheid om altijd vanaf een gevolg terug te kunnen rekenen naar de oorzaak (*postdictie*). De geïdealiseerde fysicus uit het citaat is

zowel tot predictie als tot postdictie in staat, omdat de natuur zodanig van aard is dat zij volkomen overeenstemt met zijn logisch-mathematische denken (van die tijd). Dus, hoewel de natuur-als-substantie fundamenteel verschilt van de menselijke geest-als-substantie ging men ervan uit dat er, op het gebied van het fysische denken, een volmaakte overeenstemming moest bestaan. Dit geloof in deze overeenstemming hing ook nauw samen met het in die tijd wijd verbreide 'deïsme' (Lewis, 2014). Het deïstische geloof kwam erop neer dat vele fysici (en andere 'moderne' denkers) de nieuwe wetenschap en hun geloof in God met elkaar verzoenden, middels de overtuiging dat God in een ver verleden de wereld geschapen heeft als een perfect en duurzaam werkend mechanisme, met de consequentie dat het verdere verloop van alle natuurprocessen volkomen vastligt.

Vanwege deze redenen was het voor vele fysici moeilijk te accepteren dat een op mathematische modellen gebaseerde fysica in bepaalde gevallen genoodzaakt zou zijn tot het toelaten van toeval⁵⁴. Om deze redenen was er een lange reeks van fysici die bleven betogen dat de échte wetten van de natuur volledig deterministisch zijn, en dat het terugvallen op statistiek en kansrekening slechts voortkwam uit praktische problemen en onvolledige kennis van zaken (van der Wal, 2011, pp. 103-104).

5.d Tijdsconcept

Figuur 10



Een ingrijpende consequentie van het toelaten van toeval, hield verband met het tijdsconcept. Om dit toe te lichten is enige uitleg nodig. 'Tijd' is voor de fysica een kenmerk dat in een mathematisch model gecodeerd kan worden in een variabele t . Om de tijd te kunnen coderen moet men op een 'tijdlijn' een nulpunt kiezen, een maat bepalen voor tijdsafstand, en vervolgens kunnen dan tijdswaarden op een continue lijn worden uitgezet. Op deze tijdlijn correspondeert ieder getal met een moment in de tijd. Wanneer de tijdlijn op deze manier is bepaald, dan kan het toestandsverloop van een mechanisme met deze tijdlijn verbonden worden, zodanig dat de toestand op een moment steeds gekoppeld is met een punt op de tijdlijn. Anders gezegd: ieder punt op de tijdlijn fungeert als het 'nummer' (of de code) van één 'filmbeeldje' van het systeem. In het formele

⁵⁴ Andere auteurs, zoals Van der Wal lichten deze noodzaak vooral toe aan de eveneens in de 19^e eeuw opgekomen thermodynamica (2011, pp. 98-106). Ook thermodynamische systemen behoren tot de systemen die zich chaotisch kunnen gedragen, en waarbij om verschillende redenen verklaringen in termen van waarschijnlijkheid en kansen onvermijdelijk zijn. Daarom hebben de polemieken rond toevalsverklaringen zich ook rond de opkomst van de thermodynamica afgespeeld. Voor de eenvoud van mijn betoog heb ik in het bovenstaande vooral het onderzoek naar meer-lichamen systemen als voorbeeld gebruikt.

systeem van het model is 'tijd' dus niet meer dat een coderingsmethode voor de 'momentopnamen' van een te onderzoeken mechanisme. 'Tijd' heeft in deze formele context geen inhoudelijke betekenis of waarde, en geen voorkeur voor een richting. Het is eenvoudig zo dat de momentopnamen op de tijdlijn op volgorde en op onderlinge afstand gezet moeten worden, en alleen daartoe dient de tijdsvariabele. Op grond van deze tijdsvoorstelling achtten vele fysici het vanzelfsprekend dat men een mechanisme in principe met hetzelfde gemak in de negatieve tijdsrichting zou kunnen 'afspelen' als in de positieve richting⁵⁵. En, wanneer de hele wereld een mechanisme is (zoals velen dachten) dan moesten alle gebeurtenissen in de wereld in principe in beide richtingen 'afgespeeld' kunnen worden. In de woorden van de 19^e-eeuwse fysicus Maxwell: "*Wanneer de wereld een zuiver dynamisch systeem is en wanneer men de beweging van elk van zijn deeltjes op hetzelfde ogenblik precies omkeert, dan zullen alle gebeurtenissen achterwaarts tot het begin van alle dingen aflopen, de regendruppels zullen zich op de aardbodem verzamelen en naar de wolken omhoog vliegen enzovoort, en de mensen zullen het leven van hun vrienden van het graf naar de wieg zien verstrijken tot wij de omkering van onze geboorte meemaken, wat dat ook mag zijn*"⁵⁶. In dit citaat is precies hetzelfde wereldbeeld te herkennen als het wereldbeeld dat eerder sprak uit het citaat van Laplace (pagina 353). Het is te begrijpen, wanneer men de tijd zó opvat, dat een 'ideale fysicus' met hetzelfde gemak de toekomst moet kunnen *prediceren*, als het verleden moet kunnen *postdiceren*. Zoals eerder vermeld, had dit wereldbeeld voor veel fysici en andere 'moderne denkers' zowel veel overtuigingskracht als aantrekkingskracht.

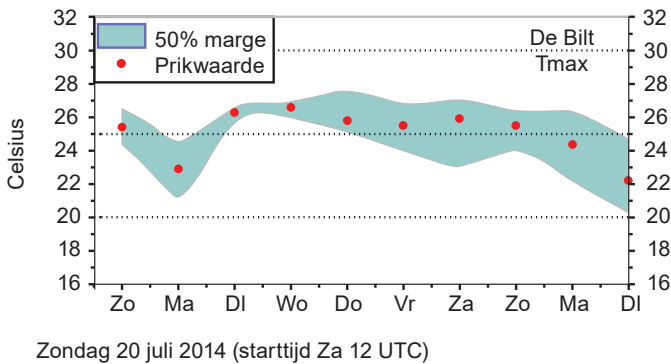
Toen echter steeds meer fysici verschijnselen ontdekten waarbij zij zich genoodzaakt zagen om ook kansrekening in hun modellen op te nemen, haalden deze fysici daarmee ook dit beeld onderuit. Het terugspoelen van de film van een mechanisme is namelijk alleen maar mogelijk, wanneer iedere oorzaak na een bepaald tijdsverloop leidt tot precies één gevolg en wanneer ook omgekeerd ieder gevolg over hetzelfde tijds-

⁵⁵ Fysici zoals Newton zagen de 'mathematische tijd' van de tijdslijn als de 'ware tijd'. In de woorden van Newton: "*Absolute, ware en mathematische tijd vloeit uit zichzelf en naar haar aard gelijkmatig zonder enige relatie tot iets wat uiterlijk ten opzichte van haar is (...); relatieve, schijnbare en alledaagse tijd is een zintuiglijk waarneembare en uiterlijke (...) maat waaraan tijd door middel van beweging gemeten wordt en die gewoonlijk gebruikt wordt in plaats van ware tijd*" (geciteerd door Van der Wal, 2011, p. 79, uit: Newtons *Principia Mathematica Philosophiae Naturalis*). En, omdat die mathematische tijd geen enkele formele voorkeur laat zien voor een tijdsrichting, daarom *moest* die formele omkeerbaarheid in essentie ook opgaan voor de natuur.

⁵⁶ Geciteerd door van der Wal (2011, pp. 100-101), die dit citaat weer ontleent aan (Sandbothe, 1998, p. 43 e.v.).

verloop teruggerekend kan worden tot precies één oorzaak⁵⁷. Bij mechanismen, die een precieze berekening van één gevolg niet toelaten, maar alleen het berekenen van een kansverdeling van mogelijke gevolgen toestaan, is aan voornoemde voorwaarde niet voldaan. Daarom is bij deze systemen het terugrekenen van de oorzaak uit een feitelijk gemeten gevolg onmogelijk. Aan het voorbeeld van een weersvoorspelling kan dit nader toegelicht worden. In figuur 11 is een voorspelling te zien van maximale temperaturen in De Bilt over een periode van 10 dagen (KNMI, 2014). Het uitgangspunt van de voorspelling zijn de gemeten waarden van een grote hoeveelheid meteorologische variabelen, zoals deze bekend zijn op zaterdag 19 juli 12:00 uur UTC. Noem de verzameling van al die waarden W . Computers berekenen uit W , volgens een ingewikkeld model, de afgebeelde voorspelling. Uit de grafiek kan afgeleid worden, dat voor zaterdag 26 juli in De Bilt een maximum-temperatuur voorspeld wordt die ligt tussen 26,4 en 22,3 °C (binnen de marge van 50% kans). Stel nu dat op zaterdag 26 juli in De Bilt in feite een maximum temperatuur gemeten wordt van 24,0 °C. Zou dan de verzameling W (van 19 juli) in principe ook teruggerekend kunnen worden vanuit deze 24,0 °C (van 26 juli)? Het is duidelijk dat dit onmogelijk is. Er zijn immers verschillende varianten van W denkbaar die allen volgens het model zouden kunnen leiden tot een kansverdeling op 26 juli waarbinnen 24,0 °C tot de mogelijkheden behoort. Daarom is het onmogelijk om achteraf te reconstrueren welke van deze varianten van W de oorzaak is geweest van het feitelijk gevolg op 26 juli. Wanneer de feitelijke verzameling W om de één of andere reden verloren gaat dan kan deze achteraf niet meer gereconstrueerd worden uit het feitelijke gevolg op 26 juli.

Figuur 11



⁵⁷ Wiskundig geformuleerd: om omkeerbaar te zijn moet de relatie tussen oorzaak en gevolg een één-op-één relatie zijn, zoals bijvoorbeeld Rosen duidelijk maakt (a.w., p. 75). De één-op-één relaties (ook wel equivalentierelaties) vormen maar een klein deel van alle soorten van relaties die wiskundig bekend zijn. Er is geen formele reden waarom een causale oorzaak-gevolgrelatie een één-op-één relatie zou moeten zijn.

Het toelaten van toeval heeft dus ingrijpende gevolgen voor het wereldbeeld. Volgens het wereldbeeld van Laplace, Newton, Maxwell en anderen was de wereld van dien aard dat de volledige toekomst in feite (wanneer men maar alles zou weten) in het heden besloten lag, en dat daarom ook het verleden nog in het heden besloten lag. Op die aanname berustte het geloof in de (in principe) volledige prediceerbaarheid en post-diceerbaarheid. Maar, met de introductie van toeval vervalt die aanname. Immers, om weer op het voorbeeld van het KNMI terug te komen, in het heden van 19 juli 12:00 uur UTC lag alleen een kansverdeling besloten die men voor de toestand op 26 juli kon uitrekenen. De precieze uitkomst van de meting op 26 juli, die uitwees dat de maximumtemperatuur in feite uitkwam op 24,0 °C, lag (volgens het model) *niet* besloten in de gegevens over de toestand op 19 juli. Die uitkomst heeft dus werkelijk nieuws waarde! Het werkelijke fysische proces genereert informatie die op 19 juli volgens het formele model niet bekend was en ook niet bekend *kon* zijn.

Er zijn veel polemieken gevoerd over de vraag of toeval alleen te wijten is aan gebrek aan kennis, of toch een inherent kenmerk is van fysische werkelijkheid (van der Wal, 2011, pp. 103-104). Uiteindelijk bracht de hardnekkigheid, waarmee onderzoek op verschillende terreinen⁵⁸ fysici noodzaakte om een beroep op toeval te doen, de fysische gemeenschap ertoe om in meerderheid de verwachting op te geven, dat uiteindelijk elk kansdeterminisme herleid kan worden tot eenduidig determinisme. Tegenwoordig is de situatie zelfs min of meer tegenovergesteld. Fysici beschouwen nu in meerderheid toevalsmodellen als fundamenteeler dan volledig deterministische modellen. De volledig deterministische modellen zien zij als bijzondere 'grensgevallen' van kans-deterministische modellen, die als categorie veel meer aanspraak kunnen maken op algemene geldigheid (van der Wal, 2011, p. 104).

Deze nieuwe opvattingen hebben ingrijpende consequenties voor het fysische tijdsconcept. Wanneer de fysische natuur in belangrijke mate bestaat uit processen waarin toeval een rol speelt, dan bieden kansdeterministische modellen de optimale voorspellingen van vele processen. Daaruit volgt als consequentie dat een nieuwe situatie in die natuur in het algemeen *achteraf* kenmerken heeft die *vooraf* niet volgens modellen, hoe geavanceerd ook, uit de oude situatie afgeleid konden worden. Om dezelfde reden kan in die natuur het verleden nooit teruggehaald worden. Wanneer men immers het verleden fysiek probeert te reconstrueren, dan speelt ook in dat reconstructieproces toeval weer een rol, en dan resulteert er toch weer iets nieuws, in plaats van het verleden. In de tijdsopvatting die we verbinden met natuurlijke processen moet dan een onherhaalbaarheid geaccepteerd worden die vergelijkbaar is met de onherhaalbaarheid van 'mensen-geschiedenis'. Kortom: de acceptatie van toeval als kenmerk van de fysisch onderzoekbare natuur leidt tot de acceptatie van '*natuurlijke historie*' (in een nieuwe betekenis).

⁵⁸ De rol van toeval in de kwantummechanica, die de hier genoemde onontkoombaarheid van toeval volkomen bevestigt, zal in het volgende hoofdstuk aan de orde komen (hoofdstuk 13, § 2).

5.e Blijvende onzekerheid

Hierbij moet opgemerkt worden dat men niet kan *bewijzen* dat kansdeterministische modellen bij vele natuurlijke processen en systemen *voor altijd* het laatste woord zullen hebben. Wat dit betreft is de situatie van de fysica vergelijkbaar met de situatie van de wiskunde, nadat Gödel ingrijpende onzekerheden blootlegde. Ook de verwachting, dat de wiskunde nooit in staat zal zijn om eens en vooral een verzameling van axioma's en afleidingsregels vast te leggen waarop het hele continent van mathematische waarheid gefundeerd kan worden⁵⁹, kon strikt genomen niet bewezen worden, ook al was die verwachting nog zo plausibel⁶⁰. En, vergelijkbaar met de wiskunde, de verdere ontwikkeling van de fysica blijft tot op heden de verwachting van onzekerheid bevestigen. Vele mechanismen die eerder volledig deterministisch beschreven konden worden, bleken later, in een meer verfijnd model, kansdeterministisch beschreven te moeten worden. Een oud volledig deterministisch model laat zich ook makkelijk achteraf inpassen in een nieuw kans-deterministisch model. De vroegere zekerheid van een volledig deterministisch model wordt dan immers achteraf verklaard als een waarschijnlijkheid die in bijzondere gevallen zekerheid kan worden, of zeer dicht kan benaderen.

Het omgekeerde, de terugkeer van volledig determinisme en bijbehorende voorspelbaarheid als generieke kenmerken van mechanismen, is eigenlijk ondenkbaar. Een toevals-model kan *niet* als grensgeval achteraf ingepast worden in een volledig deterministisch model. Zoals bijvoorbeeld Kirschenmann betoogt, kunnen toevalsbeweringen alleen maar herleid worden tot andere toevalsbeweringen (2001b, pp. 56-58). Om de ondenkbaarheid van een terugkeer naar volledig determinisme verder toe te lichten zal ik proberen om de belangrijkste redenen op te sommen, waarom aangenomen mag worden dat een ingewikkeld systeem zoals de aardatmosfeer ook in de toekomst niet volledig deterministisch bepaalbaar en voorspelbaar zal zijn.

1. De eerste reden hangt dus samen met de mathematische modellen die, na uitgebreid meteorologisch en ander onderzoek, het meest nauwkeurig blijken te corresponderen met het feitelijke gedrag van de aardatmosfeer. Deze modellen zijn, als synthetische modellen (het tweede principe voor fysische modelvorming, pagina's 343, 357), opgebouwd uit elementaire modellen die volledig deterministisch zijn. Maar, zoals ik eerder heb beschreven bij de drie- en meer-lichamen-systemen (pagina 340-342), leidt in sommige gevallen de synthese van elementaire deterministische modellen tot samengestelde modellen, die op sommige punten niet een eenduidig bepaalbare

⁵⁹ Zie het citaat van Nagel en Newman in hoofdstuk 5, aan het einde van § 5.a, en de bijbehorende voetnoot.

⁶⁰ Zie ook het fraaie beeld van deze onzekerheid dat Russell aan een oude Hindu-mythe ontleende (hoofdstuk 5, het einde van § 5.a). En zie ook de vorm die deze verwachting kreeg naar aanleiding van het werk van Church en Turing, namelijk dat de creatieve wiskundige niet overbodig gemaakt kan worden door computerprogramma's (hoofdstuk 6, § 1.d).

wiskundige oplossing hebben, en dan te vergelijken zijn met de instabiliteit van een op zijn punt staande kegel (pagina 340). Een dergelijk systeem is extreem gevoelig voor storingen. Alleen onder absoluut storingsvrije (c.q. toevalsvrije) condities zou een dergelijk systeem theoretisch geen toevalsgedrag vertonen. Uit het gegeven dat dergelijke systemen volgens toevalsverdelingen uit hun evenwicht raken blijkt dat de aanname van dergelijke absoluut storingsvrije of toevalsvrije condities in strijd is met de fysische realiteit. Zoals de weerkundige Lorenz bewees, vertonen om deze reden ook betrekkelijk eenvoudige weersystemen al chaotisch gedrag.

2. De onvoorspelbaarheid van de fysische systemen die corresponderen met chaotische modellen, zoals het weer, hing dus ook samen met het gegeven dat er met iedere meting, hoe nauwkeurig ook, altijd een marge van onzekerheid is verbonden. Samen met de kenmerken van gevoelige afhankelijkheid en non-lineariteit, impliceert de onvermijdelijke meet-onnauwkeurigheid dat er altijd minimale storingen, afwijkingen of verschillen kunnen zijn die onopgemerkt blijven, en die op den duur toch voor aanzienlijke afwijkingen van een voorspelling kunnen zorgen (pagina 356). Welnu, in de reële fysische wereld is een marge van meet-onnauwkeurigheid principieel onvermijdelijk. Deze reden voor onvoorspelbaarheid is dus op geen enkele manier te verhelpen.
3. Naast de bovengenoemde redenen zijn er ook nog redenen die nog niet eerder in dit hoofdstuk aan de orde zijn gekomen. Daartoe behoort het gegeven dat de atmosfeer van de aarde een 'open systeem' is. De atmosfeer is betrokken in voortdurende uitwisselingen van energie en materie met zijn omgeving. Eén van de consequenties daarvan is dat de toestand van de atmosfeer mede beïnvloed wordt door wisselingen in intensiteit van de stralingen en deeltjesstromen die van de zon afkomstig zijn. Wanneer men dus precieze voorspellingen van toestanden in de aardatmosfeer zou willen berekenen, dan zou men dus ook de toestanden van de zon moeten verdisconteren. Dat lijkt al moeilijk genoeg, maar het zou alleen maar een oplossing bieden wanneer de synthese van het chaotische atmosfeer-model en het zon-model (dat waarschijnlijk ook chaotisch is) tot een volledig deterministisch model zou leiden. En dan heb ik nog niet eens genoemd dat de atmosfeer van de aarde ook onder invloed staat van de maan (denk aan eb en vloed). Kortom: de verwevenheid van een open systeem zoals de aardatmosfeer met tal van systemen in zijn omgeving biedt geen perspectieven op generieke voorspelbaarheid⁶¹.
4. Tenslotte noem ik een verwevenheid die, zeker in verband met de atmosfeer van de aarde, nog extra bijdraagt aan onvoorspelbaarheid. Ik bedoel de verwevenheid die

⁶¹ Ik schrijf hier 'generiek' omdat systemen die in het algemeen chaotisch zijn, zich in bijzondere gevallen ook ordelijk en regelmatig kunnen gedragen. Zoals ik op pagina 341 noemde is ons zonnestelsel daar een voorbeeld van. Maar, dit verandert niets aan de huidige situatie waarin kansdeterminisme fungeert als algemene categorie, en 'gewone' deterministische voorspelbaarheid daarbinnen fungeert als 'bijzonder geval'.

vooral bekend is geworden door het 'broeikaseneffect' en daarmee verbonden 'klimaat probleem'. Het is (nagenoeg) zeker dat de invloeden die uitgaan van menselijke activiteiten niet te verwaarlozen zijn. De mens, zijn mobiliteit, industrie, landbouw, technologie, wetenschap en onderzoek zijn deel van het systeem, en zo daar een probleem mee is, dus ook deel van het probleem. Van de kennis die wetenschappers publiceren wordt door politici en andere beleidsmakers kennis genomen, en zodoende hebben voorspellingen zelf ook weer invloed op de processen die zij voorspellen. De onderzoekers die modellen opstellen en kennis vormen zijn daarmee zelf tegelijk onderdeel van het complex van elkaar onderling beïnvloedende factoren. Voor klimaatonderzoekers is een zuiver 'buitenstandpunt' onmogelijk. Om het geheel volledig deterministisch te kunnen verklaren zouden zij tegelijk zichzelf volledig deterministisch moeten mee-verklaren. En dat laatste is een logische onmogelijkheid.

5.f Samenvatting van de veranderingen

Zoals op pagina 357 geconstateerd werd, bleven de twee hoofdprincipes van fysische modelvorming (recursieve gevolgbijheid en deel-geheel gevolgbijheid) bij de overgang naar kans-determinisme gehandhaafd. Maar, anderzijds bracht deze overgang wel degelijk ook veranderingen met zich mee, die op den duur door de grote meerderheid van fysici geaccepteerd werden. Van deze veranderingen geef ik nu een samenvatting:

- Aanvankelijk werden volledig deterministische modellen gezien als de 'algemene categorie' van adequate beschrijvingen van fysische systemen, en toevalsmodellen werden gezien als 'tijdelijke uitzonderingen' op de regel. Na de overgang worden juist kans-deterministische modellen gezien als de algemene categorie van adequate beschrijvingen van fysische systemen, en binnen die categorie gelden deterministische beschrijvingen als 'bijzondere gevallen' waarbij de waarschijnlijkheid gelijk is aan 1, of nadert tot 1.
- Met betrekking tot causaliteit kan een vergelijkbare omkering van algemeen en bijzonder geconstateerd worden. Aanvankelijk meende men dat causaliteit gezien moest worden als een één-op-één gevolgbijheid: iedere oorzaak heeft één gevolg, en elk gevolg kan maar één oorzaak hebben. Na de overgang ziet men één-op-één gevolgbijheid als een bijzonder geval dat zich onder bepaalde condities voordoet. Het algemene geval is een situatie waarbij één oorzaak nog verschillende gevolgen kan hebben op het moment dat de oorzaak gemeten wordt, en waarbij uit een gevolg, op het moment dat het gemeten wordt, niet één oorzaak kan worden afgeleid.
- De bovenstaande veranderingen hangen nauw samen met de verandering van het fysische tijdsconcept. Aanvankelijk ging men ervan uit dat in principe (bij volledige kennis) de gehele toekomst en het gehele verleden van mechanismen in het heden besloten lagen, en dat dus ook in principe volledige predictie en postdictie mogelijk zijn. Na de overgang gaat men er van uit dat nauwkeurige predictie en nauwkeurige

postdictie slechts onder bijzondere condities mogelijk zijn, dat in het algemeen fysische processen resulteren in feiten die vooraf niet (precies) bekend kunnen zijn, en dat fysische processen in het algemeen onomkeerbaar zijn.

5.g Acceptatie als 'bekering'

De hierboven samengevatte veranderingen betekenden om te beginnen binnen de gemeenschap van fysici ingrijpende veranderingen van het globale beeld van de natuur waar de fysica onderzoek naar doet. Het 'geloof' dat die natuur uit volledig gedetermineerde mechanismen bestaat maakte plaats voor het 'geloof' dat het verloop van processen in de natuur niet altijd precies vastligt, maar ook van toeval afhankelijk kan zijn. Ondanks de 'troost' dat de omvang en verdeling van toeval in het algemeen wél berekenbaar en voorspelbaar bleek, moest men in het nieuwe natuurbeeld met meer onzekerheid genoegen nemen dan in het oude volledig deterministische natuurbeeld. Door het opgeven van de één-op-één opvatting van oorzaak en gevolg was er onzekerheid in het causaliteitsconcept geslopen. En in het tijdsconcept was de onzekerheid geslopen dat de toekomst en het verleden niet mathematisch-logisch volledig in het heden besloten liggen, en dat men dus in veel gevallen gewoon moet afwachten waar een proces precies toe leidt, en vaak niet precies kan reconstrueren waar het vandaan komt.

In navolging van Polanyi gebruikte ik hier met opzet geloofstermen. Zoals ik op pagina 357 beschreef hadden vele fysici moeite met het loslaten van het oude natuurbeeld en het accepteren van het nieuwe. Polanyi verklaart dit verschijnsel uit de diepgaande persoonlijke verbondenheid met een 'bril', die op den duur kan ontstaan wanneer onderzoekers (en mensen in het algemeen) steeds meer op een bepaalde 'bril' zijn gaan vertrouwen bij het begrijpen en hanteren van vele aspecten van hun werk, en van hun leven. Veel aanhangers van het volledige determinisme fundeerden bijvoorbeeld niet alleen hun wetenschappelijk onderzoek op hun natuurbeeld, maar ook hun manier om de nieuwe wetenschap met het christelijke geloof te verzoenen. Omdat dit vertrouwen zó vergroeid raakt met de wijze waarop een persoon in zijn werk en in zijn leven staat, kan het inruilen van oude modellen voor nieuwe het karakter krijgen van een 'bekering' (1973, pp. 105-106, 150-160, 172). Daarbij leeft kort na een wetenschappelijke 'revolutie' het besef vaak nog wel dat de nieuwe modellen waarschijnlijk even betrekkelijk zijn als de oude achteraf bleken te zijn. Maar, het besef van die betrekkelijkheid kan kennelijk vrij snel slijten onder de toenemende vertrouwdheid, en de behoefte aan zekerheid. Op den duur is dan voor velen het 'oude geloof' ingeruild voor een 'nieuw geloof'.

Deze ontwikkelingen werken ook door buiten de wetenschappelijke gemeenschap. In navolging van de fysici die opnieuw geloven dat dé natuur precies zo is, zoals zij die door de bril van hun nieuwe modellen zien, gaan ook groepen buiten die kring opnieuw geloven dat de natuur van de natuurkunde dé natuur is. Natuurlijk is niet iedereen het daarmee eens. Voor het overzicht zal ik de reacties (onder fysici en in hun omgeving) nu indelen in de volgende hoofdgroepen:

1. Er zijn groepen die zich categorisch verzetten tegen alle consequenties die het nieuwe natuurbeeld zou kunnen hebben voor de oude, door hen gekoesterde, mens- en wereldbeelden. Zij zullen het modelkarakter, en alle onzekerheden die de nieuwe modellen omringen, graag aangrijpen voor hun verzet. Hun reactie zal neerkomen op zulke uitspraken als: "het nieuwe is nog lang niet bewezen", "het is maar een model", "het is maar een intellectueel spel, dus waarom zouden we ons er iets van aantrekken?".
2. Daarnaast zijn er de hierboven genoemde groepen, die de betrekkelijkheid van het nieuwe natuurbeeld 'vergeten' en er 'het volste vertrouwen' aan schenken. Zij grijpen het nieuwe natuurbeeld van de natuurkunde aan als aanleiding om ook op het gebied van meer algemene mens- en wereldbeelden de bakens te verzetten. Vaak ook omdat zij al eerder allerlei andere redenen hadden om die oude mens- en wereldbeelden te betwijfelen.
3. Tenslotte kunnen er groepen opkomen (meestal minderheden) die voorstander zijn van genuanceerde reacties, zoals: "wat betekent het dat het oude natuurbeeld niet langer te handhaven is?; was het misschien vervlochten met aspecten van algemeen gangbare mens- en wereldbeelden die eveneens aan herziening toe zijn?; zo ja, laten we dat onder ogen zien; maar laten we aan de andere kant ook onder ogen zien dat het natuurbeeld van de natuurkunde berust op ingeperkte modellen, en dat er daarnaast ook andere benaderingen van 'natuur' bestaan; laten we eerst die verschillende benaderingen eens kritisch op elkaar laten inwerken, en laten we op grond daarvan bezien welke aspecten van mens- en wereldbeelden aan herziening toe zijn, en welke nog steeds van waarde zijn".

Het zal duidelijk zijn dat ik in deze studie een benadering wil ontwikkelen die tot deze derde categorie behoort. Maar, om dat te kunnen doen wil ik mijn benadering contrasteren met de tweede categorie⁶². Daarom zal ik mij in dit hoofdstuk eerst concentreren op de gevolgen voor mens- en wereldbeelden, die men in de samenleving kan tegenkomen, en die oorspronkelijk afkomstig zijn uit de koker van diegenen voor wie het natuurbeeld van de fysische wetenschap maatgevend is. Vertegenwoordigers van deze categorie hebben hun ideeën intensief uitgedragen en verspreid, en doen dat nog steeds. Het gevolg daarvan is dat elementen van hun mens- en wereldbeelden door velen in de samenleving zijn overgenomen, en op den duur voor velen vanzelfsprekend zijn geworden, ook voor mensen die zich nauwelijks of niet (meer) bewust zijn van hun herkomst. Later zal ik in hoofdstuk 14 (Fysica en waarheid) een benadering uitwerken die tot de derde, meer genuanceerde categorie gerekend kan worden.

⁶² De eerste categorie is voor mij niet interessant omdat deze groepen alles bij het oude willen laten, en het mij van groot belang lijkt om consequenties van nieuwe ontwikkelingen in de natuurwetenschappen, voor mens- en wereldbeeld, wel degelijk onder ogen te zien.

Bij het beschrijven van die gevolgen in de hierna volgende paragraaf zullen de meest recente revoluties in de fysica (relativiteitstheorie, kwantummechanica, standaardmodel) nog buiten beschouwing blijven. In die paragraaf zal ik wel het natuurbeeld als uitgangspunt nemen dat ontstond na acceptatie van fundamenteel toeval, omdat de acceptatie van fundamenteel toeval al noodzakelijk bleek binnen de kaders van de klassieke newtoniaanse fysica⁶³.

5.h Gevolgen voor het wereldbeeld

De acceptatie van toeval in de fysica heeft ook buiten de fysica veel invloed uitgeoefend. In de huidige westerse samenleving en cultuur is dit te merken aan de bijna alom tegenwoordige vormen van kansrekening en statistiek. Op zeer veel gebieden nemen we genoegen met verklaringen in de trant van "de kans op onweer is 30%", "uw kans op genezing is 85%", "de kans op een vliegtuigongeluk is bij deze maatschappij 1,5%", "de kans dat uw kind de Havo haalt is 45%", et cetera. Het idee, dat onze werkelijkheid deels van toeval en kansen afhankelijk is, maar dat die kansen –gelukkig– voor een groot deel berekenbaar zijn, is in onze cultuur volkomen ingeburgerd en geaccepteerd.

Enkele aspecten van de invloed die statistiek en kansrekening op ons wereldbeeld hebben zijn al beschreven in deel II, in verband met de onderzoekbaarheid van de samenhang tussen ondersteuning en vorming (hoofdstuk 9, § 3). Daarom zal ik hier volstaan met een samenvatting van die reeds beschreven aspecten, maar dan in meer algemene termen geformuleerd:

- Wanneer kenmerken, die men op onderlinge samenhang wil onderzoeken, in meetbare variabelen vertaald kunnen worden, dan kan men op grond van statistiek en kansrekening onder bepaalde voorwaarden aantonen dat het samengaan van die kenmerken (met hoge waarschijnlijkheid) geen toeval kan zijn, maar dat er een gevolglijkheid werkzaam is⁶⁴. Wanneer men dit resultaat niet kan bereiken, dan blijft de mogelijkheid openstaan dat er alleen toeval in het spel is.
- Maar, bovengenoemd aantonen blijft 'formeel', en dat impliceert dat statistiek en kansrekening geen informatie geven over de aard van de gevolglijkheid die de samenhang bewerkstelligt. Het ontdekken van de werkzame gevolglijkheid vergt in het algemeen aanvullend onderzoek.

⁶³ Uiteraard heeft de kwantumfysica, waarvan de ontwikkeling deels gelijktijdig met die van de chaostheorie verliep, ook in belangrijke mate eraan bijgedragen dat fundamenteel toeval in de fysica geaccepteerd werd. Maar, omdat ik de kwantummechanica in het volgende hoofdstuk zal behandelen, heb ik een beschrijving van kwantumtoeval in deze paragraaf achterwege gelaten.

⁶⁴ Eén voorbeeld (van de zeer vele) met algemeen-maatschappelijke waarde, was het aantonen van het verband tussen roken en longkanker, tegen de druk in van de belangengroepen die deze samenhang wilden ontkennen.

- Wanneer men statistisch onderzoek té fijnmazig 'dichttimmerd' met operationaliseren van kenmerken, dan bestaat het gevaar dat deze kenmerken te zeer generaliserende vooroordelen en stereotypen van onderzoekers belichamen, en het zicht belemmeren op generieke of unieke kenmerken die daarbuiten vallen.
- Daarnaast belemmert de generaliserende vertaling van kenmerken in mathematische variabelen per definitie het zicht op unieke variaties en samenhangen.

Een opmerkelijk aspect van de acceptatie van toeval is, dat er een vorm van oorzakelijkheid geaccepteerd wordt die zijn gevolgen niet volledig bepaalt. Het eerder gebruikte voorbeeld van de weersvoorspelling (pagina 360) kan dit verduidelijken. Wanneer men immers vraagt "*welke gevolglichheid bewerkstelligde dat de feitelijke maximum-temperatuur op 26 juli uitkwam op 24,0 °C, terwijl de voorspelling slechts aangaf dat die temperatuur (met 50% kans) tussen 26,4 en 22,3 °C zou uitkomen?*", dan moet men het antwoord schuldig blijven. In principe laat de onmogelijkheid van een antwoord nog twee opties open:

1. Er kunnen gevolglichheden zijn die we nog niet kennen, en die (beter dan nu mogelijk is) zouden kunnen verklaren waardoor de maximum-temperatuur feitelijk op 24,0 °C uitkwam.
2. De mogelijkheid bestaat ook dat één of meer van de oorzaken die werkzaam zijn nu eenmaal zodanig zijn, *dat zij de mogelijkheid van verschillende gevolgen openlaten.*

Naast de acceptatie van een andere vorm van causaliteit dan de één-op-één vorm, impliceert het tweede antwoord ook de acceptatie van *een principiële grens aan ons kenvermogen*. Bij échte toevalsprocessen kunnen we principieel niet van tevoren weten wat de uitkomst zal zijn, en moeten we de uitkomst afwachten om die 'te zijner tijd' te kunnen weten. De geruststellende berekenbaarheid van een kansverdeling kan deze principiële onwetendheid enigszins maskeren, maar niet wegnemen. In principe impliceert de erkenning van fundamenteel toeval *dat de wetenschap niet alles (van tevoren) kan weten.*

Een vraag die deze erkenning vervolgens weer kan oproepen is: "*nu de fysica toegeeft dat niet alles wat er in de wereld gebeurt volledig fysisch-wetmatig gedetermineerd en voorspelbaar is, verklaart dit dan ook waardoor wij mensen in die wereld de speelruimte kunnen ervaren voor onze vrijheid, ons handelen en onze verantwoordelijkheid?*".

Om een antwoord op deze vraag te kunnen geven moet ik gebruik maken van consequenties die volgen uit het handhaven van de hoofdprincipes van mechanistische modelvorming. Omdat ik deze consequenties in de nu volgende paragraaf zal beschrijven, zal ik aan het eind daarvan (§ 6.e) op deze vraag terugkomen.

6 BLIJVENDE GEVOLGEN

Het klassieke concept van een mechanisme, de twee hoofdvormen van gevolgblijkheid, en de hoofdprincipes van modelvorming, bleken bestand te zijn tegen de ingrijpende gevolgen van de 'toevalsrevolutie' in de fysica (pagina 357). Als consequentie daarvan bleken ook veel oudere gevolgen voor mens- en wereldbeeld, die deels al in de 17^e en 18^e eeuw geformuleerd werden, ook op langere duur van invloed op de mens- en wereldbeelden van velen.

6.a Blijvend geloof in de basics

Eén van die invloeden is het geloof dat alles wat in de natuur gebeurt (en voor sommigen zelfs alles wat in de wereld gebeurt) verklaard kan worden als een mechanisme. Een verschijnsel verklaren staat voor velen gelijk aan het zoeken naar het 'mechanisme' dat er achter zit.

Daarbij is vaak ook de fysische opvatting van causaliteit goed herkenbaar. Processen in de natuur (of in de wereld) zijn het gevolg van oorzaken die eraan voorafgaan, en niet omgekeerd. En ten tweede, als je een samengesteld systeem wilt begrijpen, dan moet je analyseren uit welke onderdelen het bestaat, en vanuit die onderdelen kun je de werking van het geheel begrijpen⁶⁵. Uitspraken van 'alternatievelingen' die stellen dat 'het geheel meer kan zijn dan de som der delen' worden afgedaan als 'soft en onbewijsbaar', tegenover de 'harde logica' van het verklaren van een geheel uit zijn onderdelen.

Een andere 17^e-eeuwse 'basic' is het onderscheid tussen primaire en secundaire kenmerken. Nog steeds heerst de opvatting dat de 'objectieve observaties', waar natuurwetenschappers hun wetenschap op baseren, zuiver objectief zijn en een werkelijkheid weergeven die simpelweg zo is, zoals die feitelijk geobserveerd en gemeten wordt. Dat andere waarnemingen subjectief zijn en toe te schrijven zijn aan interpretaties, hetzij vanwege lichamelijke condities, hetzij door vormen van betrokkenheid, dat is duidelijk. Maar, daarnaast is het geloof nog steeds wijdverbreid dat waarnemingen in principe gezuiverd kunnen worden van alle 'subjectieve' interpretaties. Zodoende kunnen observatoren, die puur feitelijk observeren wat zichtbaar, tastbaar en meetbaar is, en die alleen zuiver logische conclusies trekken, de zuiver objectieve feiten en samenhangen, de 'objectieve waarheid', aan het licht brengen. Dit geloof impliceert, net als in de 17^e eeuw, het geloof in de mogelijkheid van een zuiver buitenstandpunt. Een 'objectieve observator' en 'zuiver logische denker' kan de werkelijkheid beschouwen vanuit '*objectieve distantie*', ofwel, zoals dat in het Duits heet, als '*unbeteiligter Zuschauer*'.

Een belangrijke ervaring, die het geloof in de mogelijkheid van zuiver objectieve kennis en een zuiver buitenstandpunt versterkt, is de ervaring dat kennis die zich op pri-

⁶⁵ Zie ook (van der Wal, 2011, pp. 76-78).

maire kenmerken baseert in hoge mate accumuleerbaar ('stapelbaar') is. Het blijkt steeds opnieuw, dat in de exacte natuurwetenschappen vele oude feiten en verklaringen niet herroepen hoeven te worden, maar alleen in de kaders van meer verfijnde verklaringen worden opgenomen, en dat er zodoende steeds verder voortgebouwd kan worden aan een kennis-bouwwerk. Bij 'interpreterende wetenschappen', zoals de geschiedeniswetenschap, is dat anders. Een kleine kern van 'historische feiten' blijft nog wel staan, maar de verklaringen van die feiten blijven wisselen met de tijdgebonden gezichtspunten van historici. Verschillende 'waarheden' blijven vaak naast elkaar bestaan, zonder dat dé historische waarheid via wetenschappelijke discussie objectief vastgesteld kan worden.

Tenslotte noem ik hier het geloof in het 'dingachtige' karakter van de natuurlijke werkelijkheid. Dit geloof heeft zeer oude wortels in het atomisme van Demokritos en de epikureërs⁶⁶. Deze oude Grieken propageerden al om het geloof in goden en een bezielde natuur te verruilen voor het geloof dat alles in de natuur bestaat uit 'atomen'. Deze 'atomen' zagen zij als elementaire deeltjes die ondeelbaar, ondoordringbaar, onbezielde, en onveranderlijk moesten zijn. Vooral dit laatste kenmerk is essentieel, omdat dit betekende dat deze oude Grieken al in een scherpe en fundamentele scheiding tussen '*dingen*' en '*processen*' geloofden. De elementaire 'dingetjes' waaruit alles is opgebouwd hebben zelf geen enkel 'proceskarakter', en processen kunnen daarom geheel verklaard worden uit de werking van enkele anonieme, eveneens onveranderlijke krachten die op deze 'dingetjes' inwerken, en uit de verschillende configuraties van 'dingetjes' die zodoende ontstaan.

Zoals al uit het Newton-citaat op pagina 352 bleek, was Newton in de 17^e eeuw nog steeds een overtuigde aanhanger van dit geloof. De aantrekkelijkheid van dit geloof, zowel binnen als buiten de fysica, had ongetwijfeld te maken met de mogelijkheid om op deze manier ook te geloven in een onafhankelijke en stabiele 'substantialiteit' van de natuur, en, op basis daarvan, ook te geloven in de mogelijkheid om van die natuur niet alleen objectieve, maar ook *stabiele* kennis op te bouwen. Immers, wanneer elementaire 'dingetjes' en 'krachten' ook nog veranderlijk zouden zijn, op welke gronden zouden mensen dan stabiele en accumuleerbare kennis van de natuur moeten opbouwen?

Als gevolg hiervan is het geloof dat de natuur in wezen bestaat uit stabiele krachten en stabiele dingen-met-kenmerken ook buiten de kring van fysici wijd verbreid, en geldt het voor velen als een vanzelfsprekendheid⁶⁷.

⁶⁶ Zie ook (E. J. Dijksterhuis, 1975, pp. 7-13) en (van der Wal, 2011, pp. 63-64).

⁶⁷ Zie ook (van der Wal, 2011, pp. 65-66, 73-76).

6.b Geloof in de functieloze en betekenisloze natuur

Een belangrijk consequentie van het geloof dat dé natuur uit mechanismen bestaat, houdt in dat er in die natuur zelf geen enkele vorm van finaliteit, functionaliteit of betekenis kan bestaan. Deze consequentie is een logisch gevolg van de twee soorten van gevolgblijkheid die bij mechanismen de dienst uitmaken (pagina's 343 en 357). De logica van deze consequentie kan als volgt toegelicht worden:

Finaliteit of functionaliteit houden in, dat een bepaald natuurlijk systeem geacht wordt een doel te dienen, of een functie te vervullen. Neem een technisch instrument, zoals een klok, als voorbeeld. Een klok heeft als functie om de tijd te kunnen aflezen. Een klok die precies gelijk loopt vervult die functie goed en een klok die voor- of achterloopt vervult die functie slecht.

Deze functionaliteit van een klok heeft in de eerste plaats implicaties die de fysische inperking tot de deel-geheel gevolgblijkheid van een mechanisme te buiten gaat, omdat⁶⁸:

- een klok zijn functie pas als geheel heeft in relatie tot een context die buiten de klok zelf ligt; anders gezegd: de functie van een klok kan alleen begrepen worden door kennisname van de menselijke context, waarin mensen *behoefte* hebben aan het aflezen van tijd, en *doelgericht* een instrument ontwerpen dat die functie vervult;
- vervolgens de functie van elk onderdeel van de klok alleen begrepen kan worden vanuit de functie van het geheel;
- men dus, om de functie van een klok te begrijpen, die functie eerst moet afleiden uit een omvattend geheel waar de klok deel van uitmaakt, en vervolgens de functies van de onderdelen van de klok moet afleiden uit de functie van de klok als geheel.

Mechanistische conclusies:

1. De functionaliteit van een klok kan pas begrepen worden vanuit de verwijzing naar een subjectieve menselijke context buiten de klok zelf. We kunnen daarom stellen dat de klok, als ding, deze functionaliteit niet uit zichzelf bezit, maar alleen omdat die er van buitenaf aan toegekend is.
2. Die toekenningen van buitenaf werken door naar de deelfuncties van de onderdelen van de klok, maar dat heeft opnieuw niets te maken met die onderdelen als ding-op-zich, maar met het externe ontwerp dat aan die onderdelen deze deelfuncties heeft toegekend.

In de tweede plaats heeft de functionaliteit van een klok ook implicaties die de fysische inperking tot de recursieve gevolgblijkheid van een mechanisme te buiten gaan, omdat⁶⁹:

⁶⁸ Deze redenering is bij meerdere auteurs te vinden, maar heb ik in deze vorm met name ontleend aan Rosen (a.w., onder andere pp. 120-123).

⁶⁹ Ook deze redenering is bij meerdere auteurs te vinden, en heb ik met name aan Rosen ontleend (a.w., pp. 131-133).

- klokken ooit gemaakt zijn om in een toekomst mét klokken de tijd beter bij te kunnen houden dan in een toekomst zonder klokken; of, omdat klokken verbeterd worden om in de toekomst met nieuwe klokken de tijd beter bij te kunnen houden dan met oude klokken;
- met andere woorden: de functionaliteit van een klok impliceert gevolglichheid die vanuit een geprefereerde toekomst 'terugwerkt' naar het heden;

Mechanistische conclusie:

3. De huidige toestand van een natuurlijk systeem kan niet tegelijk zowel volledig door voorafgaande toestanden als door toekomstige toestanden bepaald zijn, omdat dergelijke verschillende bepalingen tot gevolgen kunnen leiden die met elkaar strijdig zijn. En, aangezien duidelijk is dat alle kenmerken van de huidige toestand van een mechanisme al verklaarbaar zijn vanuit verleden toestanden, heeft het geen enkele zin om ook nog aan te nemen dat deze kenmerken uit toekomstige toestanden verklaard kunnen worden.

Algemene conclusie:

Wanneer de fysische wetenschap ons dé natuur leert kennen zoals die op-zich is, afgezien van alle menselijk-subjectieve interpretaties, en de fysische wetenschap ons leert dat dé natuur uitsluitend uit mechanismen bestaat, dan zijn finaliteit en functionaliteit kenmerken die in de natuur-zelf niet voorkomen.

Zoals Rosen op verschillende plaatsen in *Life Itself* betoogt geraakte de biologie door deze conclusie in een moeilijke positie binnen de mechanistische natuurwetenschappen. Biologen ontkomen namelijk, bij hun verklaringen van levende organismen, niet aan functionele verklaringen. En, zoals hierboven is betoogd verwijzen functionele verklaringen (van systemen zoals klokken) noodzakelijk naar een *grond*⁷⁰ voor die functionaliteit, die buiten het beschouwde systeem zelf ligt. Als antwoord op de vraag naar de externe grond voor de functionaliteit in levende wezens kon aanvankelijk de deïstische God nog soelaas bieden. Rosen citeert in dat verband de bekende stelling van Voltaire: "*a clock argues a clockmaker (...) and therefore a universe argues a God*" (a.w., p. 246)⁷¹. Toen velen vervolgens tot de conclusie kwamen dat een dergelijke godheid, die de natuur

⁷⁰ In het geval van functionele gevolglichheid worden dergelijke gronden *redenen* genoemd, terwijl dergelijke gronden in het geval van causale gevolglichheid *oorzaken* genoemd worden.

⁷¹ Om de evidente functionaliteit van levende wezens te verklaren vergelijkt Voltaire hen dus met *machines*, zoals ook veel van zijn tijdgenoten deden. Deze 'machines' zouden alleen niet door mensen, maar door de Schepper, zodanig ontworpen zijn dat zij net zo berekenbaar en voorspelbaar als mechanismen functioneren. In het verlengde hiervan ligt de hardnekkige notie dat levende wezens (met uitzondering van mensen) net zo strikt aan hun 'instincten' gebonden zijn als een machine aan zijn 'programma'.

alleen bij het eerste begin een aanzet geeft en daarna overbodig is, toch de indruk maakt van een té ver gezochte 'deus ex machina', kwam voor velen de evolutietheorie van Darwin 'als een geschenk uit de hemel'. Sindsdien hoeft er niet meer naar een goddelijke actor verwezen te worden, maar is het standaard-biologische antwoord op vragen naar de functionaliteit van levende wezens: "*omdat het evolutionair nuttig is*" (a.w., onder andere p. 132). Met behulp van dit antwoord hoopte de biologie een legitieme plaats binnen de mechanistische natuurwetenschap te kunnen verwerven. Een belangrijk deel van Rosens betoog is echter gewijd aan zijn kritiek op dit antwoord. Zijn kritiek komt erop neer *dat niet uitgelegd kan worden hoe er in evolutie als mechanisme geen plaats is voor functionaliteit, en zij desondanks toch 'nuttigheid' kan genereren*. Rosens kritiek komt uiteindelijk uit bij de conclusie dat levende systemen niet kunnen bestaan in een natuur die uitsluitend uit mechanismen bestaat⁷². Die natuur is letterlijk een 'dode natuur'.

In het verlengde van finaliteit en functionaliteit sneuvelt in dit natuurbeeld ook alles wat met 'betekenis' in verband staat. Dit wordt duidelijk wanneer men nagaat wat een 'teken' is. Volgens C.S. Peirce, één van de grondleggers van de semiotiek (tekenleer) is een teken "something which stands to somebody for something" (zie ook deel I, hoofdstuk 3, einde § 3.b). Peirce onderscheidt drie soorten van tekens (Atkin, 2013, p. 7):

1. *Iconen*, tekens die een betekenis hebben op grond van gelijkenis (denk bijvoorbeeld aan het verkeersbord bij gevaar voor vallende stenen).
2. *Indexen*, tekens die een betekenis hebben omdat zij op de één of andere wijze gelyklateerd zijn met hun referent (bijvoorbeeld causaal, "waar rook is is vuur"; of bij een geconditioneerde associatie, "een bel betekent eten").
3. *Symbolen*, tekens die een betekenis hebben op grond van conventie (zoals de meeste woorden in taal).

Welnu, uit deze definitie blijkt dat een 'teken' een geheel is dat een specifieke functie vervult, namelijk: het verwijzen *voor* een 'verstaander' (mens of ander levend wezen) *naar* iets anders dan zichzelf. Zo verwijst het bovengenoemde verkeersbord *voor* een verkeersdeelnemer *naar* de mogelijkheid van vallende stenen; zo verwijst een rookpluim *voor* een brandweerman *naar* de locatie van de brand; en zo verwijst het woord 'bijl' *voor* de lezer *naar* een instrument waarmee hij hout kan hakken. In al deze gevallen gaat het dus om een *functie*, die het teken als geheel vervult, *voor* een verstaander die het *als* teken waarneemt. Voor deze 'betekenisfunctie' geldt alles wat ik hiervoor over functionaliteit heb geschreven. Ook het begrijpen of verklaren van de functies van een icoon, een index of een symbool veronderstelt dat men de functies van delen begrijpt

⁷² Die kritiek verloopt in Rosens redenering via een tussenstap. Machines vertonen een graad van complexiteit die in een wereld van uitsluitend mechanismen niet kan bestaan, en levende organismen vertonen een graad van complexiteit die in een wereld die uitsluitend uit machines bestaat niet kan voorkomen (a.w., met name § gF, pp. 235-243).

vanuit de functie (i.c. de betekenis) van het geheel. Dus ook het begrijpen van een teken of symbool veronderstelt gevolgijsheid die tegengesteld is aan de richting van de deelgeheel gevolgijsheid van mechanismen. Voor de volledigheid teken ik hierbij aan dat het interpreteren van een teken niet alleen het afleiden van de deelfuncties uit het geheel impliceert, maar in veel gevallen ook het afleiden van de betekenis van het geheel uit deelfuncties. De precieze betekenis van een gelaatsuitdrukking, voor degene die het gezicht waarneemt als 'spiegel van de ziel', hangt bijvoorbeeld ook af van details. Eén opgetrokken wenkbrauw kan een duidelijk verschil maken voor de betekenis van het gelaat als geheel.

De conclusie uit dit alles is, dat de functionaliteit van de betekenisfunctie samen met alle andere functionaliteit niet kan voorkomen in een wereld die uitsluitend uit mechanismen bestaat⁷³.

6.c Dualisme en technologie

Tegen de achtergrond van deze conclusies is het ook logisch dat deze 'moderne' natuuropvatting noodzaakte tot herziening van het mensbeeld. Immers, aan de ene kant valt het niet te ontkennen dat de mens als fysiek-lichamelijk wezen zelf deel uitmaakt van die betekenisloze natuur, maar aan de andere kant kan niet ontkend worden dat het innerlijk leven van mensen en wat zij daarvan in taal uitwisselen en in cultuur tot uitdrukking brengen, essentieel van functionaliteit, finaliteit, behoeften, betekenissen, waarden, et cetera aan elkaar hangt. Wanneer al die belevingen wél 'subjectief' in mensen bestaan, en 'intersubjectief' tussen mensen bestaan, maar in de 'objectieve' natuurlijke werkelijkheid niet kunnen voorkomen, hoe verklaren we die (inter)subjectieve werkelijkheid dan?

Een oplossing in de vorm van één of andere 'twee-substantieeler'⁷⁴ lijkt in deze situatie de enig uitweg. Descartes voorzag met zijn twee-substantieeler (zie pagina 351-352) in een moderne variant op een oud thema. Maar, het lijkt mij duidelijk dat de overtuigingskracht van zijn dualisme, en van de latere varianten ervan, niet alleen te danken

⁷³ Zie ook (van der Wal, 2011, p. 67).

⁷⁴ Zoals bijvoorbeeld van Peursen (1981, pp. 35-47) duidelijk maakt is een 'twee-substantieeler' al duidelijk bij Plato herkenbaar. Een latere variant is de 'twee-naturenleer' van Christus, zoals die vastgelegd werd in de concilies van Nicea en Chalcedon (Hillerbrand, 2014). Bij deze variant ging het om een oplossing van disputen over de menselijke- en de goddelijke 'natuur' van Christus. Het 'onbegrijpelijke' van het samengaan van deze twee 'naturen' werd niet opgelost, maar het werd dogmatisch geformaliseerd en kreeg een naam. Vergelijkbaar daarmee betoogt van Peursen dat ook het dualisme van 'ziel' (of 'geest') en 'lichaam', zowel bij Plato als bij Descartes, gepaard ging aan besef van onbegrijpelijkheid. Descartes geeft bijvoorbeeld toe dat de dagelijkse ervaring leert dat ziel en lichaam een eenheid vormen, maar dat de menselijke geest alleen het onderscheid kan begrijpen (van Peursen, 1981, pp. 25-26).

is aan de 'oude papieren' ervan, maar zeker ook aan de noodzaak om voor de mens een 'eigen plaats' buiten de mechanistische natuur te bedenken.

Het lijkt mij bovendien aannemelijk dat de opkomst van vele vormen van techniek, in het kielzog van de mechanistische natuurwetenschap, een belangrijke versterkende bijdrage heeft geleverd aan die overtuigingskracht⁷⁵. Het raadselachtige van techniek is immers, dat functionaliteit een essentieel kenmerk ervan is, en dat techniek dus enerzijds niet kan voorkomen in de functieloze natuur, maar dat techniek anderzijds juist enorm profiteert van mechanistische kennis van de natuur. Hoe meer determinisme een natuurwetenschapper 'objectief' in de natuur ontdekt, hoe meer mogelijkheden een ingenieur 'subjectief' ziet om slim gebruik te maken van al die noodzakelijke samenhangen, om nieuwe instrumenten te maken die precies doen wat hij wil, en om met behulp daarvan doelen te bereiken die voorheen onbereikbaar waren. Voor een technicus is er geen antinomie tussen vrijheid en determinisme. In tegendeel, hoe meer determinisme, des te meer vrijheid.

Zodoende versterken techniek en technologie het beeld dat de mens burger is van twee werelden. Enerzijds behoort de mens tot de natuur, want anders zou hij nooit *in* die natuur handelend kunnen interveniëren, maar anderzijds ontsnapt hij ook aan de natuur en aan het determinisme daarvan, want anders zou hij die natuur nooit kunnen beheersen en manipuleren in dienst van doelen en functies die in die natuur niet voorkomen.

Bovendien laten de producten die een technicus 'in de wereld zet' opnieuw ditzelfde mechanische determinisme zien. Rosen benadrukt dat de *machines* die mensen ontwerpen bedoeld zijn om precies als een mechanisme te functioneren. Ook een machine doorloopt toestandsovergangen die zodanig ontworpen zijn, dat de beoogde toekomstige toestanden een logisch gevolg zijn van voorafgaande toestanden, en ook een machine is zodanig opgebouwd uit onderdelen, dat de werking van het geheel een logisch gevolg is van de werking van de onderdelen. Kortom, *een machine is een kunstmatig mechanisme*. Voor het begrijpen van de werking van een machine, wanneer die er eenmaal is, is geen andere logica nodig dan de logica die fysici al gebruiken om de werking van mechanismen te doorgronden. Daarom passen de producten van technici weer naadloos in een wereld die uit mechanismen bestaat. De actoren echter, die gekenmerkt worden door behoeften, verlangens en bedoelingen, en die met het oog daarop kunstmatige mechanismen ontwerpen, die overstijgen zelf de mechanistische wereld, en die moeten dus wel (tegelijk ook) burger zijn van een andere wereld.

Het geloof dat de mens burger is van twee 'werelden', is zodoende in sterke mate bevestigd door de succesvolle ontwikkeling van technieken op talloze gebieden. Deze ontwikkeling had ook ingrijpende gevolgen voor het mensbeeld. De mens, als burger van die andere wereld, wordt in belangrijke mate geïdentificeerd als het wezen dat een

⁷⁵ Zie ook (van der Wal, 2011, pp. 81-91).

macht kan uitoefenen over de natuur; die in premoderne tijden aan God of goden werd toegeschreven⁷⁶. Aan hun burgerschap van die andere wereld ontlene mensen de *autonomie* (letterlijk: eigen-wettelijkheid) om op grond van hun eigen behoeften, belangen en bedoelingen de natuurlijke werkelijkheid te beheersen en vergaand naar hun hand te zetten. De natuurlijke wereld is weliswaar eveneens *autonoom*, omdat zij geregeerd wordt door de natuurwetten die de werking van mechanismen bepalen, maar omdat de mens voor een essentieel deel aan de wereld en de wetten van mechanismen ontsnapt, kan hij steeds meer kennis opdoen van de natuurlijke wereld en steeds verdergaand handelend interveniëren in de natuurlijke wereld⁷⁷. Op deze wijze is het 'moderne' zelfbeeld van de mens als beheersers van de natuur, als vernuftige maker van alles dat maakbaar is, als innovator, et cetera, in sterke mate gevoed door het dualisme, en heeft dit nieuwe zelfbeeld van de weeromstuit aan dit dualisme een sterke positie bezorgd. Op wetenschappelijk gebied is dit dualisme gepaard gegaan met een boedelscheiding waarbij enerzijds de 'harde empirische wetenschappen' zich toeleggen op het terrein van alles dat als mechanisme of als machine verklaarbaar is, en anderzijds de 'hermeneutische wetenschappen' zich toeleggen op alles dat begrepen moet worden vanuit samenhangen tussen betekenissen, intenties, motivaties, normen, waarden, et cetera.

Zoals ik in deel II al betoogde (hoofdstuk 10, § 1.b) is een dergelijk complementair dualisme, gecombineerd met boedelscheiding, ook instabiel. Nieuwe ontwikkelingen, in een grensgebied tussen de territoria van de boedelscheiding, kunnen bewerkstelligen dat wetenschappers opnieuw elkaars competenties gaan betwisten. In deel II heb ik daarvan ook een voorbeeld besproken. De ontwikkeling van computers inspireerde cognitieve wetenschappers tot het idee, dat ook de menselijke cognitie, die traditioneel tot het gebied van de geesteswetenschappelijke psychologie werd gerekend, geheel verklaard zou kunnen worden volgens het model van de Turing-machine (hoofdstuk 6, § 1.c). Naast dit cognitivistische reductionisme hebben zich van tijd tot tijd ook nog andere vormen van reductionisme voorgedaan, die allen de overtuiging propageerden (en nog steeds propageren) dat alles dat nu nog, bij gebrek aan beter, geesteswetenschappelijk begrepen wordt uiteindelijk van een fysische verklaring voorzien kan worden⁷⁸. De achilleshiel van dit reductionisme blijft mijns inziens de toepassing van dit reductionisme op de reductionistische wetenschap(per) zelf. Het kan niet overtuigend uitgelegd wor-

⁷⁶ Zie ook Van der Wal (2011, pp. 81-82), die deze identificatie typeert als 'Faustische' of 'Prometheïsche' grondhouding.

⁷⁷ Zie ook Van der Wal's uiteenzettingen over 'beheersingsdenken' en 'maakbaarheid' (2011, pp. 83-91).

⁷⁸ Zie bijvoorbeeld de Nederlandse Nobelprijswinnaar Gerard 't Hooft die stelt, dat 'in principe' vanuit het standaardmodel en bijbehorende theorieën *alle andere natuurverschijnselen* inclusief planten, dieren en mensen uitgerekend kunnen worden (2014, pp. 164-165). Zie voor een globale beschrijving van (ontwikkelingen en discussies rond) 'physicalistic materialism' het Britannica artikel van J.J.C. Smart (2014).

den waarom het denken van een wetenschapper, als het causaal bepaald is door mechanismen die blind zijn voor waarheid of andere normatieve criteria, toch op het voldoen aan dergelijke criteria gericht kan worden⁷⁹.

De twisten rond grensgebieden van de boedelscheiding kunnen ook (ver)leiden tot tegenovergesteld reductionisme, waarbij op de één of andere manier de materiële werkelijkheid herleid wordt tot mentale of geestelijke werkelijkheid. Ook daarvan heb ik al eerder een voorbeeld gegeven in de vorm van het idealisme waar Husserl uiteindelijk bij uitkwam (hoofdstuk 8, §§ 1.a en 1.b). Maar ook dit reductionisme heeft zijn achilleshiel, omdat niet overtuigend uitgelegd kan worden hoe een volstrekt autonoom bewustzijn dan toch zo kwetsbaar kan zijn voor chemische stofjes, of voor een fysieke klap op een fysiek hoofd.

Wanneer ik nu de balans opmaak van de gevolgen voor mens- en wereldbeelden van de fysica (en haar technische toepassingen) tot zover als die nu geïntroduceerd is, dan lijkt het mij dat het complementaire dualisme voorlopig als sterkste uit de strijd gekomen is⁸⁰. Voor al diegenen die aan de ene kant beseffen dat de causaliteit van mechanismen té beperkt is om mensen helemaal te begrijpen, en die aan de andere kant onder ogen willen zien dat mechanistische kennis en haar toepassingen in de praktijk hun gelijk bewijzen, is een vorm van dualisme een pragmatische oplossing. Dit dualisme blijft moeilijke vragen oproepen, zoals: hoe kan een werkelijkheid die al helemaal gedetermineerd is door causale gevolglijkheid en blind toeval, ook nog gedetermineerd worden door intervenierende mensen? Of: hoe kan een mens als *object* helemaal tot de natuurlijke werkelijkheid behoren, en als *subject* daar tegelijk ook buiten vallen?

De levensbeschouwelijke posities die ik in deel I (hoofdstuk 3) schetste, zijn te begrijpen als gevolgen van dit moderne dualisme. De sciëntistisch-existentialistische positie gaat uit van de acceptatie dat dé objectieve natuurlijke werkelijkheid is zoals de fysica haar beschrijft, namelijk: in-zichzelf betekenisloos en doelloos (het sartriaanse "être-en-soi"). Daartegenover komt dan de subjectief-menselijke bestaanswijze te staan die vrij, ontwerpend, waarderend en doelenstellend is (het sartriaanse "être-pour-soi")⁸¹. Deze levensbeschouwing heeft als consequentie dat de menselijke betekenis- en zingeving

⁷⁹ Zie mijn eerdere weergave van Husserls kritiek op het psychologisme (deel II, hoofdstuk 10, § 1.b, 'Complementair dualisme').

⁸⁰ Zie ook Van der Wal (2011, p. 343): "De moderne werkelijkheidsopvatting kan (...) geen andere zijn dan een radicaal dualistische".

⁸¹ Zie ook Van der Wal, die het door Sartre uitgewerkte dualisme, van 'être-en-soi' tegenover 'être-pour-soi' (1943), eveneens als consequentie ziet van het in de 17^e eeuw opgekomen dualisme van mens en natuur (2011, pp. 29, 66).

geheel vrij is, zonder externe richtlijn of norm⁸². Anderen beschouwen deze existentiële vrijheid als een vorm van willekeur, en geloven dat er a priori fundamentele betekenissen en bedoelingen gegeven zijn die niet van menselijke willekeur afhankelijk zijn. Die betekenissen en bedoelingen zijn dan niet af te lezen aan de 'objectieve' natuurlijke werkelijkheid, waarvan men eveneens accepteert dat die is zoals de fysica haar ziet. Maar, die betekenissen en bedoelingen kunnen wél gegeven zijn (of gegeven worden) in de subjectief-menselijke ervaringswereld, bijvoorbeeld in het vertrouwen op de wijsheid van een traditie⁸³, een openbaring, of bovennatuurlijke ervaringen. Deze levensbeschouwelijke positie beschreef ik in deel I, hoofdstuk 3, als metafysisch-apriorisch.

Het lijkt mij goed om hier opnieuw bij op te merken dat dit moderne dualisme berust op het geloof dat de natuur van de natuurkunde dé natuur is. Later in dit deel (in de hoofdstukken 14 en 15) zal ik een visie op de natuur van de natuurkunde schetsen die niet van dit geloof uitgaat, en die perspectieven biedt op andere levensbeschouwelijke en pedagogische opties.

6.d Cultuur tegenover natuur

Wanneer men aan mensen vraagt in welke omgeving zij het sterkst de ervaring opdoen van 'daar hoor ik bij', of 'daar hoor ik thuis', dan zullen zij in de meeste gevallen een omgeving noemen die een sociaal-cultureel karakter heeft. De meeste mensen ervaren zichzelf in de eerste plaats als behorend tot een gezin, een familie, andere gemeenschappen of organisaties, inclusief de gewoonten, overtuigingen, en alle andere cultuuraspecten waar deze gemeenschappen gebruik van maken en vorm aan geven. Het aanknopingspunt dat in deel I (hoofdstuk 2, § 3.a) diende om het concept 'vorming' te bepalen, "*de mens als schepper en schepsel van cultuur*", speelde er al op in dat de belangrijkste omgeving waarin wij ons mens-zijn realiseren een sociaal-culturele omgeving is.

Maar, ook al is de culturele omgeving waarin wij leven ons eerste 'tehuis', die omgeving maakt op zijn beurt deel uit van natuur. Het lijkt mij goed om aan het slot van deze paragraaf nog stil te staan bij de consequenties van het natuurbeeld van de klassieke fysica (en technologie) voor de verhouding tussen cultuur en natuur. Die verhouding zal ik verduidelijken door de interacties tussen mens en cultuur te vergelijken met de interacties tussen mens en natuur.

⁸² De enige norm die voor Sartre lijkt over te blijven is: vrijheid niet in 'kwade trouw' ontkennen, maar eerlijk onder ogen zien (1943, pp. 82-107).

⁸³ Als indrukwekkend voorbeeld hiervan zie ik Bonhoeffers reflecties in de gevangenis, in juni 1944, waarbij hij met instemming verwijst naar de visie van de natuurwetenschappen op een autonome, in zichzelf rustende, natuur tegenover een eveneens autonome mens. Die mens moet in de onttoverde wereld leven 'etsi Deus non daretur' (alsof er geen God zou zijn) en, geïnspireerd door de bijbelse traditie van een God die "juist door zijn onmacht in de wereld macht en plaats gewint", zijn verantwoordelijkheid nemen (1964, pp. 173-175).

De uitdrukking "*de mens als schepper en schepsel van cultuur*" typeert al de rijkdom van de interactie tussen mens en cultuur. Mensen die participeren aan een cultuur worden 'gevoed' met betekenissen, waarden, normen, zingeving, en vormgeving, en in een levende cultuur beantwoorden zij die 'voeding' met creatieve bijdragen op de gebieden van betekenissen, waarden, normen, zingeving, en vormgeving. Kortom, de interactie tussen mens en cultuur is in principe rijk, creatief, en gelijkwaardig. In het algemeen is dit een zinvolle interactie die met recht 'participatie' kan heten.

In vergelijking daarmee heeft de interactie tussen mens en mechanistische natuur een geheel ander karakter. In de interactie met deze natuur worden mensen 'gevoed' met feiten en samenhangen zonder betekenis, waarde of zin, en met processen die bepaald worden door blinde noodzaak en blind toeval. Op het gebied van betekenissen, waarden, normen, zingeving, en vormgeving moet alles van de mens komen en heeft de mechanistische natuur niets te bieden. 'Nuttigheid' is de hoogst bereikbare waarde van deze interactie voor de mens. Vanwege de ongelijkwaardigheid kan deze interactie geen 'participatie' heten. Daarvoor zijn deze natuur en de mens té wezensvreemd ten opzichte van elkaar⁸⁴.

Voor de verhouding tussen cultuur en natuur betekent dit verschil in interactie en relatie, dat de cultuur functioneert als 'thuisbasis' of 'eigen domein' voor de mens, en de natuur als de 'wildernis' waarop het cultuurgebied veroverd, of waartegen het cultuurgebied verdedigd moet worden. Kortom: de mens ervaart zijn cultuur niet als thuisbasis *binnen* deze natuur, maar als thuisbasis *tegenover* deze natuur.

De consequentie van deze verhouding tot de natuur is, dat er geen andere grenzen zijn voor de exploitatie en onderwerping van de natuur dan alleen het antropocentrische eigenbelang van de mens⁸⁵. Zolang als de belangenafwegingen voor mensen positief uitvallen kunnen zij grenzeloos hun gang gaan (van der Wal, 2011, p. 32).

Tegenover de ecologische problemen (klimaatprobleem, uitputting grondstoffen, afname genetische diversiteit, vervuiling, overbevolking, et cetera) kan vanuit deze verhouding alleen een strategie gesteld worden die gebaseerd is op 'nog beter welbegrepen lange-termijn eigenbelang' en op technologische oplossingen die in de toekomst, hopelijk op tijd, ontwikkeld zullen worden. Een aantrekkelijk aspect van deze strategie is, dat de mens die geen deel uitmaakt van de natuur, ook zichzelf niet hoeft te zien als deel van het probleem dat hij met de natuur heeft.

Daarnaast zijn er vele anderen die stellen dat deze ecologische problemen niet gezien moeten worden als een 'bedrijfsongeval', maar als een fundamenteel structuurprobleem dat een logisch gevolg is van de hierboven geschetste 'moderne' verhouding tussen cultuur en natuur (van der Wal, 2011, pp. 9-10). Volgens deze denkers wijst de

⁸⁴ Zie ook Van der Wal (2011, pp. 32, 343-347).

⁸⁵ Welke afwegingen in de praktijk vaak vanuit een provincialistisch en korte-termijn perspectief tot stand komen.

hardnekkigheid van onze milieuproblemen erop dat wij met de strategie van welbegrepen eigenbelang, en van hoop op technologie, deze problemen niet zullen oplossen, maar dat daarvoor een fundamentele verandering van de verhouding tussen cultuur en natuur nodig is. Een belangrijk aandeel aan deze denkrichting komt uit de hoek van culturele antropologie. Ton Lemaire (1976) betoogt bijvoorbeeld⁸⁶ dat deze antropologie vele zogenaamd 'primitieve' samenlevingen heeft onderzocht en beschreven, die honderden millennia hun culturele leven hebben geleefd zonder aantasting van hun natuurlijke omgeving. "*Hun filosofische systemen stemmen hierin overeen dat ze aan de mens een bijzondere plaats in de natuur inruimen, maar op voorwaarde dat hij geen inbreuk maakt op de rechten van andere levende soorten en dat deze laatste vrij blijven om te leven en zich te vermeerderen*". Daarom is het een belangrijke taak van de culturele antropologie om ons te herinneren "*aan de mogelijkheid van een type cultuur dat weet maat te houden in een eindig universum*" (1976, p. 255).

In hoofdlijn ben ik geneigd om met deze laatste denkrichting in te stemmen. Maar, deze denkrichting biedt geen gemakkelijke oplossingen, en vraagt nog om veel discussie. In de eerste plaats omdat een nostalgisch of romantisch terugverlangen naar een mythische en animistische fase van onze cultuur-historische ontwikkeling ook geen soelaas biedt. In de tweede plaats omdat, zoals uit het bovenstaande citaat blijkt, ook de waardering van 'alles dat leeft' een belangrijke rol speelt in de verhouding tussen cultuur en natuur. Daarom zal ik in hoofdstuk 15 de draad van deze reflectie opnieuw opnemen.

6.e **Speelruimte voor vrijheid?**

Aan het eind van § 5.h (pagina 369) kwam ik tot een vraag waarop het antwoord werd uitgesteld tot het laatste deel van de huidige paragraaf over 'blijvende gevolgen'. De vraag luidde: "*nu de fysica toegeeft dat niet alles wat er in de wereld gebeurt volledig door natuurwetten gedetermineerd is, verklaart dit dan ook waardoor wij mensen in die wereld de speelruimte ervaren voor onze vrijheid, ons handelen en onze verantwoordelijkheid?*"

Naar aanleiding van de acceptatie van toeval in de chaostheorie en in de kwantummechanica zijn er inderdaad (speculatieve) pogingen gedaan om het subjectieve ervaren van vrijheid te verklaren uit de objectieve rol van toeval volgens de fysica. De globale gedachtegang achter zulke verklaringen houdt in dat het brein een chaotisch systeem zou zijn dat toevallig, zonder noodzaak, in een bepaalde toestand kan geraken. Een dergelijke toevallige toestand, zou dan wellicht kunnen resulteren in de subjectief-mentale ervaring van het nemen van een 'vrije beslissing' (Bishop, 2009, pp. 55-59).

Dergelijke verklaringen berusten echter op de reductionistische aanname, dat "*mental states are caused by and realized in the structure of the brain*" (deel II, hoofdstuk 6, § 2.b).

⁸⁶ Met name in navolging van Claude Lévi-Strauss.

Volgens mijn in hoofdstuk 8 weergegeven betoog, berust dit uitgangspunt op een categoriefout (hoofdstuk 8, § 1.c).

Daarom zal ik deze vraag nu beantwoorden in de geest van de niet-reductionistische auteurs naar wie ik bij dit eerdere betoog al heb verwezen:

- Menselijke vrijheid is niet alleen vrijheid *van* allerlei bepalingen, maar vooral vrijheid *tot* het handelend beantwoorden aan betekenissen, behoeften, belangen of waarden. Vrijheid die alleen maar vrijheid-*van* zou zijn is nog geen vrijheid, en nog geen handelen, maar –inderdaad- alleen maar puur toeval of zuivere willekeur. Daarom vooronderstelt vrijheid per definitie gerichtheid op betekenissen, behoeften, belangen of waarden.
- In de natuur van de natuurkunde komen, ook na de acceptatie van fundamenteel toeval, betekenissen, belangen en bedoelingen nog steeds niet voor. Het kan dus ook niet uitgelegd worden, hoe een niet in die natuur voorkomende bedoeling toch sturing kan geven aan een proces dat zich volgens de natuurkunde 'toevallig' en dus zuiver stuurloos voltrekt.
- Voor een technische actor maakt de acceptatie van toeval ook geen verschil voor zijn fundamentele relatie tot natuur. Het enige verschil dat de nieuwe kennis, van systemen waarin onder bepaalde voorwaarden toeval kan optreden, hem oplevert is een uitbreiding van technische mogelijkheden. Op grond van deze nieuwe kennis kan een technicus net zo goed machines ontwerpen en bouwen die toeval genereren, als dat hij eerder al machines kon ontwerpen en bouwen die nauwkeurig voorspelbaar functioneren. Dankzij de nieuwe kennis zijn ondertussen inderdaad al vele vormen van technisch-intentioneel gebruik van toevalsprocessen ontwikkeld. Maar, dit verandert nog steeds niets aan de consequentie dat de creatieve technische actoren, die deze toepassingen ontwikkelen, zelf niet in de mechanistische natuur van de natuurkunde kunnen voorkomen.
- Daarom hoort het antwoord op bovenstaande vraag met recht thuis onder de noemer van 'blijvende gevolgen'.
-

HOOFDSTUK 13

Latere ontwikkelingen en discussies

Om beantwoording van de richtvragen uit de inleiding tot dit deel (pagina 109 e.v.) verder voor te bereiden zullen in dit hoofdstuk drie 'rode draden' uit het voorafgaande verder gevolgd worden:

De eerste rode draad betreft de karakterisering van fysische wetenschap als 'mechanisme wetenschap'. In hoofdstuk 11 werd deze karakterisering inhoudelijk bepaald middels de klassiek-fysische inperkingen van het waarnemen tot 'observaties', en de inperking van onderzoekbare gevolgijskheid tot 'recursieve-' en 'synthetische gevolgijskheid'. In hoofdstuk 12 werd vervolgens betoogd, dat de later gebleken noodzakelijkheid om fundamenteel toeval te accepteren, de principes van fysica als 'mechanisme wetenschap' onaangetast liet.

De revoluties van relativiteitstheorie en kwantummechanica, doorwerkend tot in het standaardmodel (als *pars pro toto*), hebben echter nieuwe consequenties voor de fundering van fysische wetenschap. Daarom moet de vraag, of fysische wetenschap nog steeds als 'mechanisme wetenschap' gekarakteriseerd kan worden, ook opnieuw gesteld worden. Het antwoord op die vraag blijkt af te hangen van de filosofische interpretatie van deze wetenschap en haar laatste revoluties. In dit hoofdstuk wordt aangesloten bij de 'Kopenhaagse interpretatie', en wordt op grond daarvan de conclusie bereikt, dat de principes van 'mechanisme wetenschap' niet langer volgehouden kunnen worden voor de 'slechts indirect observeerbare systemen', maar gered en gehandhaafd worden op het klassiek observeerbare macro-fysische niveau van een fysisch experiment.

De invloed van de ontwikkeling van de klassiek-fysische wetenschap op mens-, natuur-, en wereldbeelden vormde een tweede rode draad in het voorafgaande. In het vorige hoofdstuk kwam de invloed van de 'toevalsrevolutie' aan de orde. In dit hoofdstuk wordt geschetst hoe de andere revoluties in de fysica aanleiding gaven tot verschillende interpretaties, waarvan er enkele aan de orde komen. Onder deze interpretaties nemen de reflecties van G.J. Sizoo een prominente plaats in, omdat deze al in de 40er jaren van de 20^e eeuw een interpretatie ontwikkelde die een bevrijding inhield van een hoogmoedig mensbeeld en een mens-vreemd natuurbeeld.

Een derde rode draad, die in hoofdstuk 12 begon, en die verweven was met de hiervoor genoemde draden, betrof de kennispretenties van fysische wetenschap. De 17^e-eeuwse fysica ging samen het geloof dat haar kennis 'zuiver objectief' zou zijn, en betrekking zou hebben op dé essenties van dé natuur. In dit hoofdstuk zal nagegaan worden in hoeverre deze kennispretenties invloed ondergingen van de revoluties in de fysica. Daarbij zal blijken dat aan de geschiedenis van deze revoluties argumenten ontleend kunnen wor-

den om deze kennispretenties te relativëren. Een relativering, die impliceert dat vooruitgang ook getypeerd kan worden als '*verbeterde onwetendheid*'.

In de voorafgaande hoofdstukken zijn nu de ontwikkelingen in de fysica besproken die zich bleven baseren op het newtoniaanse fundament. De opkomst van 'relativiteitstheorie' en 'kwantummechanica' maakte echter, aan het begin van de 20^e eeuw, een radicaal einde aan het tijdperk van deze 'klassieke fysica'. Het newtoniaanse fundament was niet langer houdbaar, en de fysische wetenschap moest op een ingrijpend vernieuwd fundament gebaseerd worden.

1 RELATIVITEITSTHEORIE

De relativiteitstheorie bouwt voort op de modellen die in de 19^e eeuw ontwikkeld werden om elektrische en magnetische verschijnselen te verklaren. De grote doorbraak in die tijd was de ontdekking dat elektrische en magnetische verschijnselen nauw met elkaar samenhangen en in één omvattend model beschreven konden worden. Bovendien bleek dat een groot scala aan 'stralingsverschijnselen', zoals radiogolven, warmtestraling, licht en röntgenstraling, berust op interactie van elektrische en magnetische velden, die zich voortplanten in de ruimte. Het model van die interactie, mathematisch geformuleerd in de wetten van Maxwell, beschrijft hoe een veranderend elektrisch veld een veranderend magnetisch veld voortbrengt, en het veranderende magnetische veld weer een veranderend elektrisch veld voortbrengt (Sizoo, 1958a, pp. 314-339). Sindsdien wordt de elkaar in standhoudende combinatie van die twee soorten velden als één veld beschouwd en aangeduid als elektromagnetisch veld (e-m veld). Dit e-m veld heeft als kenmerk dat het zich in de ruimte in principe bolvormig uitbreidt en op den duur steeds zwakker wordt naar mate zijn energie over een steeds grotere bol verdeeld is.

De dynamiek van het e-m veld bleek in die tijd het beste begrepen te kunnen worden naar analogie van de eveneens driedimensionale voortplanting van geluid in lucht of in een ander medium. Het model van Maxwell was dus gebaseerd op een metafoor (zie 328-330) waarbij de e-m dynamiek vergeleken werd met reeds bekende trillings- en golfverschijnselen. Zoals de meeste metaforen ging ook deze metafoor echter in een bepaald opzicht *niet* op: terwijl er bij alle eerder bekende trillingen en golven altijd 'dingetjes' geïdentificeerd konden worden die de trilling of golf belichaamden, was het bij e-m golven volstrekt onduidelijk of er een 'iets' was dat trilde, en zo ja, wat dat zou moeten zijn. Deze e-m golven kunnen zich namelijk ook prima in vacuüm voortplanten, terwijl er –voor zover men wist– in vacuüm niets materieels aanwezig is.

In het vervolg zal ik, in navolging van vele auteurs, soms de term 'licht' gemakshalve gebruiken als representant van *alle* e-m verschijnselen. Dit plaatsvervangende gebruik van de term 'licht' is ontstaan omdat onderzoek naar licht, als casus van e-m verschijnselen, belangrijke aanleidingen opleverde voor het ontwikkelen van de relativiteitstheorie.

1.a Aanleidingen

Een eerste aanleiding vormde de ontdekking dat het licht zich met een eindige snelheid *moest* voorplanten. Deze ontdekking volgde in eerste instantie uit het model dat Maxwell had geformuleerd. Maxwell bewees op grond van zijn model: wanneer de interactie tussen de elektrische en magnetische componenten van een e-m veld zodanig is dat daar een e-m golf uit resulteert die zich in de ruimte voortplant, dan moet de snelheid waarmee die golf zich in vacuüm voortplant een vast bepaalde waarde hebben. Maxwell kon vanuit zijn model die snelheid uitrekenen, en deze kwam uit op ongeveer 3×10^8 m/sec. In diezelfde tijd slaagden andere fysici erin om instrumenten te bouwen waarmee deze snelheid gemeten kon worden, en deze metingen bevestigden de door Maxwell voorspelde snelheid (Perkowitz, 2014; Sizoo, 1958b).

Maxwell en de meeste van zijn tijdgenoten konden zich echter niet voorstellen dat er een golfverschijnsel zou kunnen zijn zonder dat er een *iets* is dat de golfbeweging belichaamt. Daarom stelde men simpelweg dat er een nog onbekende stof moest zijn, de 'aether', die dan het medium zou zijn waarin licht zich voortplant. Deze aanname impliceerde onder andere dat *alle* ruimte, inclusief de zogenaamde 'lege ruimte' (het vacuüm), gevuld moest zijn met deze 'aether' (Perkowitz, 2014; Sizoo, 1958b).

Een volgende consequentie van deze aanname was, dat de snelheid van het licht een snelheid moest zijn *ten opzichte van de aether*. Maar, stel dat er in die aether allerlei stromingen zouden kunnen voorkomen, zoals in de lucht of in het water, dan zou men op aarde steeds verschillende waarden van de lichtsnelheid moeten meten, al naar gelang het licht van een ster zich voortplant in een 'aetherwind' die naar de aarde toewaait, of juist van de aarde wegwaait. Het bleek dat astronomen dergelijke verschillen niet konden vinden, en daaruit trok men de conclusie dat de aether in dit opzicht niet op lucht of water leek, dat daarin geen stromingen voorkomen, met andere woorden: dat dit medium in absolute rust verkeert (Sizoo, 1958b).

Maar, ook al is de aether een medium dat in absolute rust verkeert, dan nog zou men moeten kunnen merken dat bijvoorbeeld de aarde in zijn jaarlijkse baan rond de zon verschillende snelheden heeft ten opzichte van die stilstaande aether. En die snelheid van de aarde ten opzichte van de aether zou zich moeten vertalen in verschillen in snelheidsmetingen van licht dat van een ster afkomstig is. De snelheid van de aarde in zijn baan rond de zon is ongeveer 3×10^4 m/sec, en daarom zou men moeten kunnen meten dat de waarde van de snelheid van licht dat van een bepaalde ster komt varieert al naar gelang de richting waarin de aarde zich in zijn baan om de zon beweegt. Michelson en Morley waren in 1887 in staat om metingen te verrichten met voldoende nauwkeurigheid om deze variatie te kunnen vinden. Zij konden deze echter niet vinden, en zo werd de fysische gemeenschap met een lastig raadsel geconfronteerd (Perkowitz, 2014; Sizoo, 1958b).

Voor de jonge Einstein kwam bij dit alles nog een gedachtenexperiment dat hij op 16-jarige leeftijd bedacht. Hij stelde zich voor dat een onderzoeker op de één of andere manier met de lichtsnelheid zou meereizen met een lichtstraal. Voor deze ruimtereiziger

zou de snelheid van deze lichtstraal dan gelijk zijn aan 0. Maar, Maxwell had nu juist aangetoond (zie boven) dat een lichtstraal berust op een interactie tussen elektrische en magnetische velden die *moet* resulteren in een snelheid van 300000 km/sec en die dus nooit, voor welke onderzoeker dan ook, kan resulteren in snelheid 0. Het vreemde is dus, dat een lichtstraal, voor een gefantaseerde meereizende jonge onderzoeker, geen lichtstraal kan zijn (Perkowitz, 2014; Polanyi, 1973, pp. 10-11)!

1.b Het postulaat

Toen Einstein zich als 26-jarige concentreerde op een aantal problemen van de fysica van zijn tijd, waaronder de hiervoor genoemde problemen met de lichtsnelheid, realiseerde hij zich het fundamentele karakter van deze problemen. Hij kwam tot de conclusie dat de problemen moesten samenhangen met oude aannames over de aard van ruimte en tijd. Voor een weergave van de hoofdgedachte volgens welke Einstein tot deze conclusie kwam volg ik nu Sizoo's beschrijving (1958b, pp. 340-341):

Neem aan dat er ergens in de lege ruimte twee waarnemers W_1 en W_2 zijn, op een flinke afstand van elkaar, en beiden in rust ten opzichte van een gemeenschappelijk coördinatensysteem A (en dus ook ten opzichte van elkaar). Stel nu dat deze waarnemers beschikken over ideale, volkomen gelijkmatig lopende klokken. Beiden willen in samenwerking fysische metingen uitvoeren, maar moeten daartoe eerst hun klokken gelijk zetten. In de lege ruimte is het overseinen van informatie via e-m signalen (bijvoorbeeld radiosignalen) de enige manier waarop zij dit kunnen doen, aangezien dit de enige signalen zijn die zich in de lege ruimte voortplanten. Om de klokken gelijk te zetten stuurt W_1 op het tijdstip 9:00 uur, afgelezen op *zijn* klok, een signaal naar W_2 met als inhoud "nu is het bij mij 9:00 uur". Stel dat deze boodschap door W_2 ontvangen wordt op het tijdstip 12:00 uur, afgelezen op *zijn* klok. Stel nu ook dat W_2 's tijdwaarneming onmiddellijk via een signaal wordt teruggestuurd naar W_1 (met de inhoud "nu is het bij mij 12:00 uur"). Omdat de signalen zich met de eindige lichtsnelheid in de ruimte voortplanten zal dit antwoord met vertraging aankomen, neem aan op het tijdstip 10:00 uur op de klok van W_1 . Wat moet W_1 nu doen om zijn klok gelijk te zetten met die van W_2 ? Het voor de hand liggende antwoord is, dat W_1 concludeert dat het signaal er een half uur over doet om van W_2 naar hem te komen (de helft van de tijd van de heen- en terugweg), en dat het dus, wanneer hij de boodschap van W_2 ontvangt ondertussen op diens klok 12:30 uur geworden moet zijn, en hij dus onmiddellijk zijn eigen klok op 12:30 uur moet zetten om de twee klokken te synchroniseren.

Het probleem dat Einstein zag is het volgende: wanneer de aether-theorie zou kloppen, dan is het helemaal niet zeker dat het lichtsignaal evenveel tijd nodig heeft voor de terugweg als voor de heenweg. Het hele systeem A met de waarnemers W_1 en W_2 zou immers ten opzichte van de aether een grote snelheid kunnen hebben, zodat de signalen bijvoorbeeld drie kwartier nodig hebben voor de heenweg (tegenwind) en een kwartier voor de terugweg (wind mee). In dat geval zou W_1 zijn klok moeten zetten op 12:15 uur. Om na te kunnen gaan of de lichtsnelheden op de heenweg en op de terugweg wel of niet

gelijk zijn moeten W_1 en W_2 samen een snelheidsmeting kunnen uitvoeren. Maar, dat kunnen zij pas doen wanneer zij er zeker van zijn dat hun klokken gelijk lopen! Zo zitten W_1 en W_2 in een vicieuze cirkel. Om de basis van hun tijdmeting te kunnen leggen moeten zij de lichtsnelheden in de verschillende richtingen kennen, maar om die snelheden te bepalen hebben zij de basis van hun tijdmeting nodig.

Einstein bedacht vervolgens dat dit probleem alleen opgelost kon worden door het nemen van een radicaal besluit. Zijn oplossing was daarom: wij *stellen* gewoon (wetenschappelijk geformuleerd: wij *postuleren*) dat de lichtsnelheid *altijd* gelijk is aan de snelheid die uit de Maxwell-vergelijkingen volgt. Wanneer wij dit postulaat volgen, dan is de bovengenoemde 'middelingsooplossing' van W_1 *per definitie* de enig juiste en altijd geldige oplossing, en dan kunnen wij dat hele aether-verhaal compleet vergeten.

Hierboven schreef ik dat Einstein tot de conclusie kwam dat de problemen rond de lichtsnelheid samenhangen met oude aannames. Hij had daarbij de aannames op het oog die bijvoorbeeld spraken uit het Laplace-citaat (pagina 353). De fysici die de klassieke mechanica ontwikkelden vonden het vanzelfsprekend om zich de kosmos voor te stellen als een geheel dat in principe (door een goddelijk wezen) van buitenaf geobserveerd en gekend kan worden. Vanuit een intellectueel buitenstandpunt zou de ruimte, waarbinnen alle lichamen van die kosmos zich bevinden, een duidelijk vaststaande ruimte zijn. Het concept van de absoluut rustende aether past goed in dit beeld. Deze aether zou absoluut rusten in de eveneens absoluut rustende ruimte, ten opzichte waarvan alle bewegingen (en dus ook die van het licht) absoluut bepaald kunnen worden. Bovendien zou een denkbare externe intelligentie ook over een absolute maatstaf voor tijd kunnen beschikken, omdat het voor dit wezen duidelijk is hoe de toestand van de totale kosmos op één moment is, en het voor dit wezen ook duidelijk is welke onderlinge tijdsafstanden er tussen gebeurtenissen in de kosmos liggen. Denk aan het beeld van de film (pagina 358-359): voor een dergelijke intelligentie zou iedere momentane toestand van de kosmos corresponderen met één filmbeeldje, en zou de tijdsafstand tussen twee gebeurtenissen corresponderen met de afstand tussen twee 'filmbeeldjes'. De gebeurtenissen in de kosmos spelen zich zo gezien niet alleen af in de absolute ruimte, maar ook in de absolute tijd. Het is typerend voor de vanzelfsprekendheid van dit beeld, dat deze opvatting van ruimte en tijd in die tijd nooit getypeerd werd als 'absoluut'. Men sprak gewoon over dé ruimte en dé tijd. Pas in terugblik, ná acceptatie van de relativiteitstheorie, ging men deze opvatting typeren als de *aanname* van absolute ruimte en absolute tijd.

Aan de gedachtegang van Einstein is te herkennen hoe hij afstand nam van dit oude kosmosbeeld. Hij zag er eenvoudigweg van af om het probleem van de constant (b)lijkende lichtsnelheid te benaderen vanuit een denkbeeldig buitenstandpunt, maar beperkte zich bewust tot de vraag hoe observatoren die zich *binnen* de kosmos bevinden met dit probleem zouden kunnen omgaan. En, zoals beschreven, blijkt dan dat deze

observatoren hun probleem op een eenvoudige manier⁸⁷ kunnen oplossen door de oude aannames te vervangen door een nieuwe. Een nieuwe aanname in de vorm van het postulaat (ofwel axioma) dat de lichtsnelheid voor alle observatoren altijd dezelfde is, ongeacht hun onderlinge afstanden of snelheden.

1.c Speciale relativiteitstheorie

Einstein was vervolgens ook in staat om vele consequenties van het nieuwe axioma wiskundig-logisch af te leiden. Van deze consequenties noem ik hier slechts enkele⁸⁸:

- Gelijktijdigheid van gebeurtenissen, en tijdsintervallen tussen gebeurtenissen, zijn relatief. Gebeurtenissen die voor de ene observator gelijktijdig zijn, zijn dat niet voor een andere observator, die ten opzichte van de gebeurtenissen een andere snelheid heeft dan de eerste.
- Het meten van afstanden tussen objecten in de ruimte is eveneens relatief, en eveneens afhankelijk van de snelheid van de observator ten opzichte van de objecten.
- Dat de lichtsnelheid de maximaal haalbare snelheid is, moet te merken zijn aan het feit dat het steeds meer energie kost om een object dat al een hoge snelheid heeft nog verder te versnellen. In de buurt van de lichtsnelheid nadert die energie tot oneindig. Dit correspondeert met het toenemen van de massa van het snelle object. Die massa wordt oneindig groot bij het naderen van de lichtsnelheid. Daardoor moet dus ook het meten van massa relatief zijn. Een object dat ten opzichte van een observator een snelheid 0 heeft, heeft zijn 'rustmassa' (wat wij gewoonlijk onder 'massa' verstaan), en een object dat zich ten opzichte van een observator met een bepaalde snelheid beweegt heeft een grotere massa.
- Als laatste noem ik hier de beroemde equivalentie van massa en energie die Einstein uit zijn theorie afleidde, en die uitgedrukt kan worden in de formule $E=mc^2$.

Bij het ontwikkelen van deze theorie verruimde Einstein het postulaat van de vaste lichtsnelheid tot een algemener postulaat:

- *De wetten van de fysica, zoals die uit experimenten en metingen volgen, zijn niet afhankelijk van de snelheid die het laboratorium, waarin deze experimenten en metin-*

⁸⁷ De formulering 'op een eenvoudige manier' is bewust gekozen omdat er in de eerste tijd na het Michelson-Morley experiment verschillende verklaringen de ronde deden, die allen de geconstateerde observaties konden verantwoorden. Zoals bijvoorbeeld Polanyi beschrijft (1973, pp. 9-15), werd de verklaring van Einstein op den duur als de meest overtuigende ervaren, mede dankzij zijn conceptuele en wiskundige 'elegantie'.

⁸⁸ Voor de overige consequenties, en meer uitgebreide beschrijvingen daarvan, zij verwezen naar de vele publicaties over de relativiteitstheorie, zoals bijvoorbeeld (Perkowitz, 2014).

gen worden uitgevoerd, heeft ten opzichte van welk ander⁸⁹ coördinatensysteem dan ook ('t Hooft, 2014, pp. 32-36; Sizoo, 1958b, p. 344)⁹⁰.

De mechanica van Newton voldoet niet aan dit principe, en moet daarom vervangen worden door een relativistische mechanica. Anderzijds moet deze relativistische mechanica weer overgaan in de mechanica van Newton wanneer de snelheid van het laboratorium ten opzichte van zijn object tot nul nadert.

Sindsdien zijn alle toetsbare voorspellingen die uit deze theorie afgeleid konden worden experimenteel bevestigd, en zijn er ook vele technische toepassingen ontwikkeld en ingevoerd. De werking van de kernwapens, die later in de 20^e eeuw ontwikkeld werden, berust bijvoorbeeld (onder andere) op het principe van de equivalentie van massa en energie. De deeltjesversneller van CERN in Geneve bewees bij ieder experiment de juistheid van Einsteins voorspellingen omtrent toename van massa, tijdvertraging, et cetera. Ook het bijna alledaags geworden GPS-systeem dankt zijn nauwkeurigheid aan relativistische berekeningen (Zeilinger, 2005, p. 206), ... et cetera.

1.d Algemene relativiteitstheorie

Wanneer een observator metingen uitvoert aan een dynamisch systeem dat verschillende toestanden doorloopt (denk bijvoorbeeld aan een om zijn as draaiend ruimtestation), dan zijn dus zowel de lengte-metingen die hij aan dat systeem verricht als zijn tijd-metingen afhankelijk van de snelheid die hij ten opzichte van dat object-systeem heeft. Einstein ontdekte dat er wel een vaste relatie bestaat tussen de veranderende lengte- (L) en tijdmetingen (T), die onafhankelijk is van de onderlinge snelheid tussen observator en object. Die relatie is: $L^2 - c^2T^2 = \text{constant}$. Dit resultaat bracht Minkovski tot de conclusie dat ruimte en tijd niet langer gezien moesten worden als twee onafhankelijke kaders waarbinnen fysische gebeurtenissen zich afspelen. Hij toonde vervolgens aan dat het fysische natuurbeeld mathematisch vereenvoudigd kon worden door uit te gaan van vierdimensionale 'ruimtetijd' (de vertrouwde drie ruimtelijke dimensies + de tijdsdimensie) als hét kader voor observatie van alle gebeurtenissen in de kosmos. Dit idee en het bijbehorende wiskundige model nam Einstein na 1905 van Minkovsky over (Perkowitz, 2014).

⁸⁹ Ik schrijf '*ander* coördinatensysteem' omdat het laboratorium zelf ook een coördinatensysteem impliceert. In de relativiteitstheorie gaat het erom dat men, ook wanneer men de meetgegevens van het ene naar het andere coördinatensysteem omrekent, tot dezelfde fysische wetten komt. De relativistische 'Lorentztransformatie' is de omrekenmethode die aan deze eis voldoet.

⁹⁰ Het postulaat, dat de lichtsnelheid die vanuit een laboratorium gemeten wordt niet afhankelijk mag zijn van de snelheid ten opzichte van de lichtbron, is nu één van de consequenties van dit postulaat.

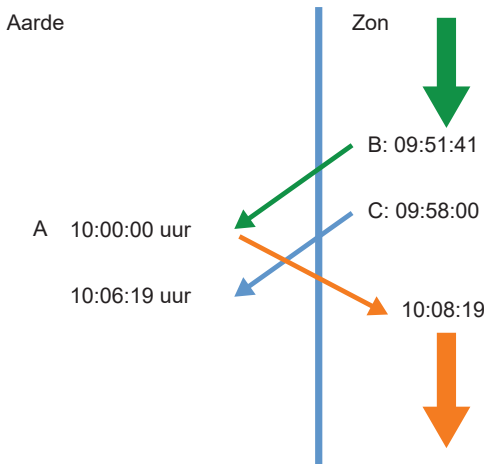
Ruimtetime

Het lijkt mij goed om dit abstracte concept van ruimtetime nu te verduidelijken aan de hand van de al eerder gebruikte film-metafoer (pagina's 358-359, 387)⁹¹, en met behulp van de uitleg van dit concept door Bertrand Russell (1926). Ruimtetime kunnen we ons voorstellen als een 'film', waarvan ieder 'beeldje' driedimensionaal is (een hologram), en een ruimtelijke situatie weergeeft *zoals die op één moment is*. Bij dit laatste zit er een adder onder het gras. Volgens de relativiteitstheorie wordt gelijktijdigheid steeds vager naarmate gebeurtenissen zich op grotere afstand bevinden. Wanneer een ruimtetime-recorder (RT-recorder) een situatie registreert zoals die vanuit zijn standpunt op één moment is, dan zal deze alleen de tijdsorde van lokale gebeurtenissen scherp kunnen registreren. Wanneer wij een continue opeenvolging van gebeurtenissen willen registreren die wij in één doorlopende 'geschiedenis' (of 'film') willen opnemen, dan moeten we die gebeurtenissen met onze RT-recorder dus letterlijk 'van dichtbij' volgen, ook wanneer zij zich ten opzichte van andere gebeurtenissen met grote snelheid of over grote afstand verplaatsen. Aan een voorbeeld kan ik nu verder verduidelijken wat de consequenties van de relativistische opvatting van ruimtetime zijn. Stel dat een observator op aarde de zon observeert en op een beeldscherm, om 10:00:00 uur op zijn klok, het plotselinge ontstaan van een nieuwe zonnevlek waarneemt (gebeurtenis A op aarde). Omdat het licht dat van de zon komt er 8 min en 19 sec over doet om de aarde te bereiken correspondeert gebeurtenis A op aarde (het observeren van de nieuwe zonnevlek) met het verschijnen van de zonnevlek op de zon om 9:51:41 uur (gebeurtenis B op de zon)⁹². En stel nu tenslotte dat die zonnevlek op de zon weer verdwijnt om 9:58:00 uur (gebeurtenis C op de zon).

⁹¹ Deze film-metafoer dank ik aan het eerder gebruikte Maxwell-citaat (pagina 359), maar ook aan het verhelderende gebruik dat Robbert Dijkgraaf van deze metafoer maakte in zijn TV-college over Einstein op 29 november 2013 (DWDD-university).

⁹² Denkbeeldige klokken op aarde en op de zon kunnen gesynchroniseerd worden omdat de afstand aarde-zon praktisch constant is (zie Einsteins gedachtegang op pagina 386).

Figuur 12



Uit de relativiteitstheorie volgt nu dat er geen RT-recorder kan zijn die zowel gebeurtenis A als gebeurtenis C in één doorlopende 4-dimensionale geschiedenis (of film) zou kunnen opnemen. Immers, wanneer een RT-recorder eerst gebeurtenis A op aarde zou registreren en dan naar de zon zou reizen, dan komt die recorder op zijn vroegst om 10:08:19 uur op de zon aan (reizend met de lichtsnelheid), maar dan is gebeurtenis C op de zon al 10:19 min achter de rug. En ook in omgekeerde richting lukt het niet, want als de recorder om 9:58:00 uur van de zon vertrekt dan is deze op zijn vroegst om 10:06:19 uur op aarde, en dat is 6:19 min te laat om A nog in zijn film te kunnen opnemen. In andere woorden: er kan geen RT-film (of -geschiedenis) gemaakt worden van gebeurtenissen die A met C verbindt. Uit de figuur is af te leiden dat alle gebeurtenissen die vóór 9:51:41 uur op de zon gebeuren in één continue RT-geschiedenis te verenigen zijn met gebeurtenis A (groene pijlen); en dat ook alle gebeurtenissen die op de zon ná 10:08:19 uur gebeuren in één geschiedenis te verenigen zijn met gebeurtenis A (oranje pijlen). De gebeurtenissen die op de zon plaats vinden tussen 09:51:41 uur en 10:08:19 uur kunnen nooit samen met A in één RT-geschiedenis voorkomen.

In de tijd dat Einstein de relativiteitstheorie ontwikkelde lag bovenstaand voorbeeld voor de astronomie al op bekend terrein. Toen de soliditeit van deze theorie werd bevestigd, waren ook de wegen gebaad naar toepassingen op nieuwe terreinen, zoals de ruimtevaart. De expedities naar steeds verdere bestemmingen, die vanaf einde 20^e eeuw ondernomen werden, noodzaakten tot uitdagende toepassingen. Zo hebben we ondertussen op 6 augustus 2014 een spannende toepassing van het ruimtetijd-concept mee-

gemaakt bij de eerste ontmoeting tussen ruimtevaartuig Rosetta en komeet 67P/CG⁹³. Wanneer we in de laatste figuur 'Zon' vervangen door 'Rosetta-Komeet systeem' dan is deze figuur, met aangepaste tijden, opnieuw van toepassing. De afstand tussen de aarde en Rosetta was bij de ontmoeting zodanig dat voor alle communicaties 22½ min nodig was om de afstand te overbruggen. Op 6 augustus moest aan Rosetta het commando gegeven worden om de manoeuvre in te zetten die het ruimtevaartuig in een baan om de komeet moest brengen. Het lastige van de situatie was, dat in het controle-station op aarde de informatie over Rosetta's nadering van de komeet steeds 22½ min achter liep (de groene pijl van B naar A) en dat het commando om de manoeuvre in te zetten pas 22½ min na afgifte Rosetta zou bereiken en door Rosetta uitgevoerd zou worden (de oranje pijl). Op grond van de binnenkomende informatie moest de vluchtleiding dus beslissen dat de ontmoetings-manoeuvere 45 min na de situatie van deze informatie ingezet moest worden. En na het geven van het commando moesten alle betrokkenen 45 min wachten, voordat zij konden weten of de manoeuvre het gewenste resultaat had. Gelijktijdigheid was dus inderdaad een probleem, omdat de gebeurtenissen die verondersteld worden hier en daar 'gelijktijdig' te gebeuren niet gelijktijdig bekend konden zijn. En, in dit geval was het gelijktijdigheidsprobleem nog eenvoudig omdat de snelheid van het Rosetta-Komeet systeem ten opzichte van de aarde gering was (15,4 km/s). Deze snelheid was zó gering in vergelijking met de lichtsnelheid dat een relativistische tijdcorrectie op grond van onderlinge snelheid nog geen grote rol hoefde te spelen.

Afschaffing van 'kracht-op-afstand'

De laatste beschouwingen en voorbeelden veronderstellen eigenlijk alleen nog maar de speciale relativiteitstheorie. Het enige nieuwe is, dat het naderhand ontwikkelde ruimtetijd-concept op deze theorie is toegepast. Einstein zag na enige jaren echter een mogelijkheid om dit nieuwe ruimtetijd-concept te gebruiken voor een generalisering van de relativiteitstheorie. Tot op dat moment beantwoordde deze theorie aan het postulaat, dat ik op pagina 388 formuleerde, namelijk: dat de wetten van de fysica, zoals die uit experimenten en metingen in een laboratorium blijken, niet afhankelijk mogen zijn van de *snelheid* die dit laboratorium ten opzichte van welk ander coördinatensysteem dan ook kan hebben.

Het postulaat van de speciale relativiteitstheorie gaat uit van een laboratorium⁹⁴ dat zich ten opzichte van andere systemen met een constante snelheid beweegt. In deze vorm houdt het postulaat dus een beperking in, omdat de snelheid die observatoren hebben ten opzichte van de systemen die zij onderzoeken lang niet altijd constant is. Daarom riep dit postulaat de vraag op, of het ook mogelijk zou zijn om een fysica te ont-

⁹³ De precieze informatie over deze ontmoeting ontleende ik op 20 augustus 2014 aan de website van ESA: <http://rosetta.esa.int/>.

⁹⁴ Preciezer geformuleerd: een coördinatensysteem.

wikkelen die ook invariant zou zijn bij een (veranderlijke⁹⁵) *versnelling* van het laboratorium ten opzichte van welk ander coördinatensysteem dan ook.

Deze vraagstelling was zowel lastig als interessant. Interessant vanwege een oud probleem rond 'massa' in de newtoniaanse fysica. Men kan in deze fysica 'massa' namelijk op twee verschillende manieren definiëren. Men kan massa definiëren, zoals ik het hiervoor op pagina 339 deed, en stellen dat 'massa' de 'gevoeligheid' is die een lichaam heeft voor een omgevend versnellingsveld. Preciezer gesteld: massa is het kenmerk dat bepaalt hoe groot het 'gewicht' van een lichaam is in een bepaald versnellingsveld (ofwel 'zwaartekrachtsveld'). Massa volgens deze definitie noemt men kortheidshalve '*zware massa*'. Maar, men kan massa ook definiëren door te letten op de kracht die het kost om een lichaam een bepaalde snelheid te geven, of af te remmen. Massa is dan het kenmerk dat bepaalt hoeveel kracht er nodig is om aan een lichaam een bepaalde versnelling te geven. Massa volgens deze tweede definitie noemt men kortheidshalve '*traagheids-massa*'. Die twee verschillende definities van massa blijken volkomen gelijkwaardig te zijn, maar voor de klassieke fysica bleef de vraag naar de grond voor die gelijkwaardigheid een raadsel (Sizoo, 1958b, p. 349).

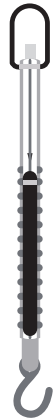
Wanneer we nu terug gaan naar het denkbeeldige laboratorium van Einstein, dan kunnen we zien hoe een nieuwe fysica, die op het verruimde postulaat zou berusten, dit oude raadsel zou oplossen. Stel dat men in een laboratorium (op te vatten als een ruimtevaartuig) de kracht zou meten die een voorwerp uitoefent op een zogenaamde 'veerbalans' (figuur 13), en stel dat die veerbalans een kracht van 10 Newton aangeeft. Dan kan die meting in dit laboratorium volgens beide definities geïnterpreteerd worden:

1. Het lab is in rust (of in constante snelheid) in een 'zwaartekrachtsveld', en de meting is dus een meting van de 'zware massa' van het voorwerp.
2. Het lab versnelt zijn beweging in een omgeving zonder 'zwaartekrachtsveld', en de meting is dus een meting van de 'traagheidsmassa' van het voorwerp.

Wanneer we nu beschikken over een fysica waarvoor het niet zou uitmaken of het lab nu wel of niet in een versnelde beweging zou zijn ten opzichte van welk ander systeem dan ook, dan zouden binnen die fysica beide interpretaties volkomen gelijkwaardig kunnen zijn. Met andere woorden: het raadsel van de twee massa-definities zou opgeheven zijn (Sizoo, 1958b, p. 349).

Einstein kon de belofte van deze nieuwe fysica inlossen door gebruik te maken van Minkovski's idee van 4-dimensionale ruimtetijd en van de 19^e-eeuwse ontwikkeling van niet-euklidische meetkenden door Riemann en anderen (deel II, hoofdstuk 5, § 1). Deze nieuwe vormen van meetkunde stelden Einstein in staat om 'versnellingskracht' of

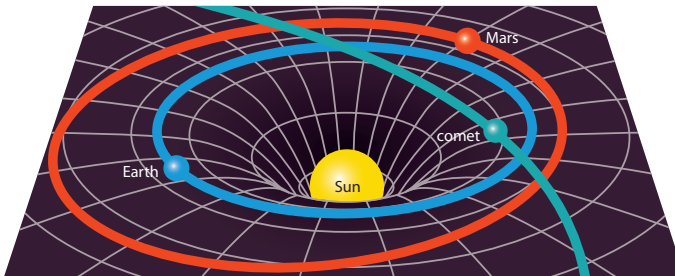
Figuur 13



⁹⁵ 'Veranderlijk' is hier toegevoegd omdat Einstein niet opnieuw een beperking wilde inbouwen door de aanname dat deze versnelling een *constante* versnelling zou moeten zijn.

'zwaartekracht'⁹⁶ op te vatten als een 'ruimtekenmerk'. In zijn modellen 'vertaalde' (codeerde) Einstein deze krachten als 'krommingen' van een niet-euklidische 4-dimensionale ruimte. Volgens deze nieuwe fysica is massa nu het kenmerk van een voorwerp dat de ruimte, waarin dat voorwerp zich bevindt, in een bepaalde mate doet 'krommen' ('t Hooft, 2014, pp. 35-36; Perkowitz, 2014). Het probleem voor 'gewone mensen' is, dat Einsteins oplossing een zuiver wiskundige oplossing is. Einstein was in staat om alle aanschouwelijke (semantische) voorstellingen van zaken los te laten en puur syntactisch te zoeken naar een formele structuur die aan zijn vraagstelling voldeed. De niet-euklidische 4-dimensionale ruimte, die de nieuwe fysica mogelijk maakte, is in feite een axiomatisch-formeel systeem (een 'calculus', zie deel II, hoofdstuk 5, § 3.a), waarvan een fysisch de spelregels moet volgen, zoals een schaker de regels van het schaakspel volgt, zonder zich om de semantiek te bekommeren. Wanneer een fysisch zegt "deze ruimte is gekromd" dan is dat evenveel waard als de uitspraak van een schaker die zegt "dit stuk is een paard". Het is belangrijk om dit in gedachten te houden bij vergelijkingen zoals: "het is alsof de zon een kuil maakt in de ruimte en een planeet daardoor langs de helling van die kuil op een bepaalde hoogte rond de zon draait" (zie figuur 14⁹⁷). Een dergelijke metafoer helpt het voorstellingsvermogen wel een eindje op weg, maar staat nog ver af van het feitelijk gebruikte mathematische model.

Figuur 14



Het postulaat (axioma) waarop de algemene relativiteitstheorie berust kan dus geformuleerd worden als:

De wetten van de fysica, zoals die uit experimenten en metingen volgen, zijn niet afhankelijk van de versnelling die het laboratorium, waarin deze experimenten en metingen worden uitgevoerd, heeft ten opzichte van welk ander coördinatensysteem dan ook ('t Hooft, 2014, pp. 32-36; Sizoo, 1958b, p. 344)⁹⁸.

⁹⁶ Die volgens de nieuwe fysica ook equivalent zijn.

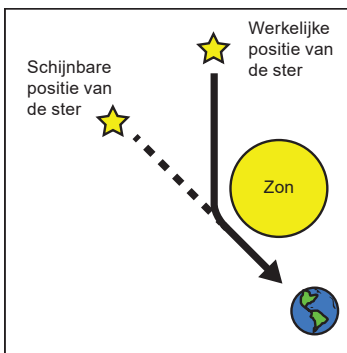
⁹⁷ Ontleend aan <http://sunorbit.net/sun.htm>.

⁹⁸ Uiteraard is dit niet de officiële fysische formulering, maar -in navolging van 't Hooft- een gepopulariseerde versie daarvan.

Russell (1926; 2009, pp. 123-130) concludeert dat Einstein met deze theorie het newtoniaanse concept van kracht-op-afstand heeft afgeschaft. Lichamen, zoals planeten of welke dan ook, bewegen zich zoals zij doen omdat dit de meest eenvoudige beweging is in de regio van de ruimte waar zij zich bevinden, en *niet* vanwege één of andere mysterieuze invloed op afstand. Newton had in zijn tijd geen verweer tegen dit mysterieuze concept van kracht-op-afstand, omdat hij nog niet beschikte over een alternatief voor de euclidische meetkunde⁹⁹. Nu wij wel over dit alternatief beschikken kunnen wij de geobserveerde bewegingen van lichamen associëren met lokale kenmerken van de ruimte waarin het lichaam zich beweegt. Lichamen worden zodoende veel meer onafhankelijk van elkaar dan zij in de newtoniaanse fysica waren. Er is als het ware een toename van lokale autonomie en een afname van centrale regie.

Tenslotte is het goed om te vermelden dat Einstein in staat was om ook uit de algemene relativiteitstheorie toetsbare voorspellingen af te leiden. En ook deze voorspellingen werden allen door experimenten en metingen bevestigd. Een beroemde voorspelling hield in dat het licht van sterren, dat zich dicht langs de zon voortplant, door de invloed van de zonnemassa op de ruimtetijd licht afgebogen wordt, zodat het lijkt alsof de ster een beetje verschuift ("Sternverschiebung", zie figuur 15¹⁰⁰). Dit verschijnsel is alleen goed te observeren bij een volledige zonsverduistering. In 1919 kon de Engelse astrofysicus Eddington dit verschijnsel als eerste bij een volledige zonsverduistering empirisch vaststellen. Met veel voldoening meldde de Nederlandse fysicus Lorentz dit resultaat in een beroemd telegram aan Einstein (Küpper, 2014; Vibert Douglas, 2013).

Figuur 15



⁹⁹ In de tijd van Newton was dit concept van 'kracht-op-afstand' even contra-intuïtief als het begrip 'gekromde ruimte' in onze tijd!

¹⁰⁰ De figuur is ontleend aan (Küpper, 2014). Voor de duidelijkheid is in de figuur de hoek van de afbuiging (α) sterk overdreven. De grootte van die hoek bedroeg in werkelijkheid niet meer dan ongeveer één boogseconde.

1.e Consequenties voor het natuurbeeld

De vervanging van de gescheiden concepten 'ruimte' en 'tijd' door het eenheidsconcept 'ruimtetijd' is volgens Russell (1926) de filosofisch meest relevante vernieuwing van de relativiteitstheorie. Het revolutionaire karakter van deze vernieuwing kan verduidelijkt worden door vergelijking met het beeld van de kosmos dat sprak uit het Laplace-citaat (pagina 353).

Van buitenstandpunt naar binnenstandpunt

Uit dit citaat blijkt bijvoorbeeld de aanname dat een geïdealiseerde externe waarnemer een universele tijd zou kunnen bijhouden, en zodoende per moment zou kunnen vaststellen in welke toestand de kosmos op ieder moment zou zijn. De relativiteitstheorie verwerpt deze aanname nu als een onmogelijke illusie. Zoals ik beschreven heb is het bijhouden van tijdsvolgorde en tijdsafstanden volgens de relativiteitstheorie alleen mogelijk binnen een beperkte regio in de kosmos, door een RT-recorder¹⁰¹ die zich *in* de kosmos bevindt¹⁰² en die een bepaalde 'geschiedenis' van gebeurtenissen van dichtbij volgt (pagina 390). De tijdsorde van een 'geschiedenis' van gebeurtenissen is dus niet vanuit een buitenstandpunt absoluut vast te stellen, maar alleen relatief vaststelbaar *vanuit een binnenstandpunt*. Voor de volledigheid zij hierbij opgemerkt dat ook de betrekkelijke tijdsorde, zoals die door een RT-recorder geregistreerd wordt, alleen in één richting kan gaan, van verleden naar toekomst. Ook volgens de relativiteitstheorie kan de tijd niet 'teruggedraaid' worden¹⁰³.

De relativiteitstheorie verwerpt eveneens de aanname dat het voor een 'buiten-kosmische observator' in principe mogelijk zou moeten zijn om van alle deeltjes en gebeurtenissen de plaatsen en onderlinge afstanden vast te stellen in een universele ruimte. De universele ruimte van het Laplace-beeld is onverzoenlijk strijdig met het postulaat van de eindigheid en absoluteheid van de lichtsnelheid. Want ook wanneer men de aetherhypothese vergeet, en men aanneemt dat het licht zich in een absoluut vaststaande lege ruimte voortplant, dan zou men toch verschillende lichtsnelheden moeten meten, al naar gelang men zich in die absolute ruimte naar een lichtbron toe- of daarvan af beweegt. Zoals ik beschreef (pagina 386-388) berust de relativiteitstheorie in de grond van de zaak juist op het *loslaten* van de nauw met elkaar verbonden aannames van absolute ruimte en tijd en een denkbeeldig buitenstandpunt. In plaats daarvan ontwikkelde

¹⁰¹ Die zowel een mens als een machine kan zijn, dat maakt niet uit.

¹⁰² Dit 'bevinden' kan ook 'verplaatsen' zijn, maar dat is uiteraard afhankelijk van het coördinatensysteem ten opzichte waarvan men 'bevinden' of 'verplaatsen' registreert.

¹⁰³ Hierbij kan bijvoorbeeld gedacht worden aan de situatie van de 'twin-paradox' (Perkowitz, 2014). Wanneer één van een tweeling van de aarde vertrekt voor een ruimtereis met zeer hoge snelheid, dan zal de reiziger bij terugkeer minder oud zijn dan de andere tweeling. Maar, dit impliceert nog niet dat de reiziger zou kunnen terugkeren naar zijn/haar eigen verleden.

Einstein een gedachtegang die zich rigoureuus baseert op observaties, zoals die vanuit een relatieve ruimte-tijdelijke positie en snelheid *binnen* de kosmos opgedaan worden.

Met de relativiteitstheorie neemt de natuurkunde radicaal afstand van het traditionele natuurbeeld van Laplace, dat gebaseerd was op de denkbeeldige mogelijkheid van een absolute visie op de kosmos vanuit een buitenstandpunt. In plaats daarvan berust de relativiteitstheorie op acceptatie van onvermijdelijke betrekkelijkheid van observaties en metingen, in relatie tot het ruimtetijdelijke referentiekader *binnen de kosmos*.

De relativiteitstheorie impliceert ook een nieuwe bijstelling van het causaliteitsconcept. Een bijstelling die minstens zo ingrijpend is als de acceptatie van toeval. Uit de figuur en de redenering die op pagina 391 zijn weergegeven blijkt dat er, vanuit A gezien, geen causale relatie kan bestaan tussen gebeurtenis A op aarde en de gebeurtenissen die zich op de zon afspelen tussen 09:51:41 en 10:08:19 uur. De reden daarvoor is het nieuwe inzicht dat causaliteit niet onmiddellijk werkt, maar tijd kost. Wanneer er een gebeurtenis op de zon plaats vindt die uiteindelijk effect op aarde heeft, dan moet dat effect de aarde bereiken via een keten van oorzaken en gevolgen die niet sneller kan werken dan de lichtsnelheid (P. Clark, 2009). En in omgekeerde richting geldt dat een gebeurtenis op aarde niet eerder dan na 8:19 minuten (aardetijd) effect op de zon kan hebben. In het algemeen: *alleen gebeurtenissen die in één RT-geschiedenis met elkaar verbonden kunnen worden, kunnen onderling een causale samenhang hebben*.

Is alles relatief?

Impliceert de relativiteitstheorie nu dat alle geobserveerde 'werkelijkheid' relatief is ten opzicht van de observator? Het antwoord van Russell (1926; 2009, pp. 138-144) op deze vraag is een duidelijk 'nee'. De relativiteitstheorie relativeert niet alles. De verandering komt er in wezen op neer dat nieuwe absoluteit, zoals de lichtsnelheid, oude absoluteit, zoals die van ruimte en tijd, *vervangt*. Door die vervanging worden oude absoluteitheden relatief.

De verandering is te vergelijken met de erkenning dat objecten verschillend kunnen lijken in grootte en vorm al naar gelang de afstand en de gezichtshoek waaronder zij waargenomen worden. Ons 'gezond verstand' corrigeert die betrekkelijkheden naar concepten van objecten die onafhankelijk zijn van het standpunt van de waarnemer. De fysica doet in feite niets anders dan het uitbreiden van dit streven naar steeds grotere standpunt-onafhankelijkheid (1926; 2009, pp. 1-7). De verandering van opvatting, dat de aarde een bol is en niet plat, was al een stap in die richting. Die stap bewerkstelligde onder andere dat observaties van de sterrenhemel tot één geheel geïntegreerd konden worden, onafhankelijk van een standpunt op het zuidelijk of op het noordelijk halfrond¹⁰⁴. Een volgende stap was de revolutie van Copernicus. Door de opvatting van de zon als centrum ontstond het concept van een 'zonnestelsel' dat in principe net zo goed vanuit de aarde als vanuit de maan of een andere planeet geobserveerd zou kunnen wor-

¹⁰⁴ Dit voorbeeld is een eigen illustratie bij de redenering van Russell.

den. Voor ons is het concept 'zonnestelsel' niet moeilijk omdat wij het al op school aangeleerd krijgen. Maar, indertijd was een 'beking' tot het copernicaanse wereldbeeld een moeilijke denkoefening, en bovendien lange tijd niet zonder gevaar, omdat deze door autoriteiten als een gevaarlijke 'ketterij' werd gezien.

De stap die Einstein zette met de relativiteitstheorie ligt in het verlengde hiervan. Maar nu gaat het om een beeld waarop de term 'wereldbeeld' al niet meer van toepassing is. Want op onze aarde, als vaste gestolde planeet, zijn we gaan denken dat het normaal is dat er veel stabiele referentiepunten zijn aan de hand waarvan we eenduidig 'plaatsen' en 'bewegingen' kunnen bepalen. Wanneer we ons losmaken van die stabiel lijkende aarde en gaan denken in astronomische schalen van ruimte en tijd, dan is er nauwelijks stabiliteit te ontdekken, maar is veeleer alles in beweging en verandering ten opzichte van elkaar. Achteraf gezien wordt het dispuut tussen Copernicus en zijn tegenstanders nu een kwestie van conventie (2009, p. 5). Wat maakt het uit, als toch alles ten opzichte van elkaar beweegt, of we zeggen dat de aarde dagelijks om haar as en jaarlijks om de zon draait, of dat we zeggen dat de zon dagelijks om de aarde draait, en per seizoen hoger of lager aan de hemel staat? Een observator in de kosmos kan nu eenmaal elk referentie-systeem kiezen dat hem om bepaalde redenen goed uitkomt. Met behulp van de axioma's van de relativiteitstheorie heeft Einstein een fysica ontwikkeld die blootlegt wat er toch nog stabiel is in de kosmos waarin alles ten opzichte van elkaar beweegt en verandert, en waarin nog veel meer observaties dan wij eerst dachten afhankelijk zijn van het toevallige referentie-systeem van waaruit een observator observeert. De absoluteheid van de lichtsnelheid is één van de stabiele referenties die de fysica overhoudt.

Abstracte objectiviteit

Maar, wanneer we proberen de denkoefeningen van de relativiteitstheorie te volgen, dan blijft het moeilijk om de vraag te beantwoorden, wat dan nog '*objectieve* realiteit' is.

In antwoord op die vraag schrijft Russell dat de relativiteitstheorie nog steeds niets anders doet dan wat de fysica altijd gedaan heeft: aansluiten bij de gezond-verstand-aanname, dat hetgeen waarover alle observatoren het eens zijn '*objectief*' is. Objectiviteit impliceert volgens datzelfde gezonde verstand dat wij die gemeenschappelijke kern beschouwen als een realiteit die op-zich bestaat, zonder bijdragen die van observatoren afkomstig zijn¹⁰⁵. Deze aanname van objectiviteit wordt voor het gezond verstand ook nog eens bevestigd door het gegeven dat het niet uitmaakt of de observaties, waar we die gemeenschappelijkheid in moeten ontdekken, door mensen of door machines geregistreerd zijn (1926, p. 2; 2009, p. 138).

¹⁰⁵ Later in dit hoofdstuk zal blijken dat andere fysici, die de Kopenhaagse interpretatie van de kwantumfysica volgen, zoals Sizoo, het met deze stellingname niet eens zijn (zie § 2.e / *Onmisbare subjectiviteit*).

In verband met de lijn van mijn eigen betoog is het goed om bij het bovenstaande op te merken dat Russell hier duidelijk maakt dat, wat hem betreft, de 17^e-eeuwse opvatting van een objectief op-zich bestaande natuur (zie eis c. op pagina 333) verenigbaar is met de relativiteitstheorie. Anderzijds is het ook duidelijk dat de relativiteitstheorie *wel* noodzaakt tot het herzien van de 17^e-eeuwse opvattingen over 'zuivere observatie' en 'primaire en secundaire kenmerken' (pagina 348-351). Terwijl de 17^e-eeuwers nog dachten dat zij, door zich te beperken tot zichtbare en tastbare kenmerken, de realiteit al zuiver objectief konden observeren, degraderen concepten zoals de absolute lichtsnelheid, de niet-euklidisch gekromde 4-dimensionale ruimtetijd, en de onmogelijkheid om in de kosmos een algemeen geldig referentiekader voor ruimte en tijd te vinden, deze oude opvatting tot een vorm van 'naïef realisme'. Dit brengt mij tot de vraag, *hoe de relativiteitstheorie het traditionele concept van objectiviteit ongemoeid kan laten, terwijl het traditionele beeld van de kosmos (Laplace o.a.) zo fundamenteel onderuit gehaald is.*

Om een antwoord op die vraag te vinden keer ik weer terug naar Russell's betoog. Zijn antwoord op deze vraag houdt in dat het *objectieve residu belichaamd is in de abstracte mathematisch-formele structuren van de relativiteitstheorie*, waar alle observatoren het over eens kunnen worden (1926). Met andere woorden: *het enige dat wij volgens de relativiteitstheorie objectief van de natuur begrijpen, dat zijn de formele structuren die wij wiskundig formuleren.* Het lastige van dit residu is, dat het door zijn abstracte karakter ver afstaat van onze dagelijkse zintuiglijke ervaringen. We kunnen bijvoorbeeld wel spreken en schrijven over een 4-dimensionale ruimtetijd die in verschillende regio's verschillend gekromd is, maar weten we dan nog wel waar we het over hebben? Russell verduidelijkt deze situatie met behulp van een metafoor. Stel dat iemand volkomen doof geboren is. Deze persoon kan het notenschrift en andere aanduidingen op bladmuziek als formele structuren leren kennen en begrijpen, zonder de 'echte muziek' te kennen waar deze structuren naar verwijzen, terwijl een musicus met goed gehoor de bladmuziek-structuren kan vertalen naar concrete muziek en vice versa. Volgens Russell lijkt de kennis van fysici op de situatie van de dove: zij kunnen deze formele structuren lezen en mathematisch begrijpen, maar zij kunnen niet weten of 'de muziek' die daardoor wordt voorgesteld mooi is of lelijk, zij kunnen zelfs niet weten of de mathematische symbolen nog iets anders voorstellen dan alleen zichzelf (2009, p. 143). Dit is de prijs die zij betalen voor de bovenmenselijke objectiviteit van de relativiteitstheorie. Zij overschrijden met de concepten van deze theorie de grenzen van het menselijke waarnemingsvermogen en van de klassiek-fysische concepten die op dat waarnemingsvermogen gebaseerd zijn. Onze zintuiglijk-conceptuele uitrusting als 'aardewezens' beperkt ons tot ruimtelijk waarnemen en denken in drie dimensies, en tot een tijdsconcept dat berust op ons vermogen om (op beperkte schaal) beweging en verandering waar te nemen (1926; 2009, pp. 2-3). Die beperktheden vormen ons punt van overeenkomst met de 'doofheid' uit de metafoor. Russell concludeert: "of the laws of these occurrences we know something – just so much as can be expressed in mathematical formulae- but of their nature we know nothing" (2009, p. 142).

Verbeterde onwetendheid

Het laatste deel van Russell's conclusie kan verwondering wekken. Iedere nieuwe stap in de ontwikkeling van de fysica bewijst zich toch in zijn vruchtbaarheid voor nieuwe indrukwekkende toepassingen? Uit die technologische prestaties blijkt toch dat wij steeds beter begrijpen hoe onze fysische werkelijkheid in elkaar zit? Is het moderne inzicht in de mechanistische aard waarop natuurverschijnselen berusten dan niet een verbetering ten opzichte van de vroegere animistische verklaringen waarmee verschijnselen zoals het onweer verklaard werden? Hoe kan Russell dan beweren dat wij nog steeds *niets* weten over de inhoudelijke aard (de '*nature*') van fysische samenhangen?

Om nu na te gaan hoe ik de door Russell geponeerde onwetendheid kan interpreteren zal ik eerst teruggaan naar het begin van de modern-klassieke mechanica om te bezien of zich daar misschien al iets aftekent van het samengaan van kennisontwikkeling en onwetendheid.

Op pagina 325 e.v. beschreef ik hoe Galileï afstand nam van de oude aristotelische aanname dat alle materiële lichamen naar de aarde vallen vanwege hun 'zwaarte', en dat het daarom logisch zou zijn dat zwaardere lichamen sneller vallen dan lichtere. Om nu iets meer te begrijpen van de inhoud van de aannames waarvan Galileï afstand nam, moet ik iets dieper op de opvattingen van Aristoteles ingaan. Op grond van de waarneming dat verschijnselen zoals rook en vuur de neiging vertonen om omhoog te gaan, en dat daarentegen 'aardachtige' voorwerpen de neiging hebben om naar beneden te vallen, maakten de oude Grieken onderscheid tussen fenomenen die gekenmerkt worden door 'lichtheid' en fenomenen die gekenmerkt worden door 'zwaarte'. Om nu te verklaren waarom 'aardachtige' lichamen naar beneden vallen ontwikkelde Aristoteles een ingewikkelde theorie. Die theorie was ingewikkeld omdat in de oudheid werking op afstand ondenkbaar was. In vereenvoudigde vorm kwam de theorie er uiteindelijk op neer dat in levenloze lichamen weliswaar geen ziel als aanzet tot beweging aanwezig is, maar dat in plaats daarvan een levenloze 'motor' (anachronistisch geformuleerd) dode lichamen aanzet tot de natuurlijke beweging naar beneden. Het begrip 'zwaarte' ('gravitas') werd in de aristotelische traditie de gangbare naam voor die 'motor' (E. J. Dijksterhuis, 1975, pp. 26-34).

Over dit begrip 'zwaarte' maakte Galileï zijn beroemde opmerking, *dat het geven van een naam nog niet betekent dat wij iets begrepen hebben* (E. J. Dijksterhuis, 1975, p. 373). Deze opmerking was terecht omdat men in de aristotelische traditie gewend was om in vallende voorwerpen een onwaarneembare innerlijke 'beweger' te projecteren, alleen omdat men nu eenmaal meende dat er, bij gebrek aan een waarneembare uitwendige 'beweger', dan maar een innerlijke beweger aangenomen moest worden. Zo'n aanname betekent nog niet dat men iets *wet*. In feite vult men in dergelijke situaties een kennislacune met een bedenksel. Vervolgens krijgt dit bedenksel een naam en zodoende wordt op den duur een illusie van kennis gewekt.

Galileï maakte met zijn experimenten duidelijk dat dit oude bedenksel in strijd was met zijn observaties en dus verworpen moest worden. En bovendien slaagde hij erin om

enkele wiskundige formules te vinden die de valbeweging (onder afzien van wrijving) nauwkeurig kloppend beschreven. Zoals ik beschreef, maakten deze vergelijkingen duidelijk dat de snelheid van de valbeweging *niet* in verband stond met de meetbare zwaarte van voorwerpen. Verlegenheidshalve kan men die snelheid dan aan de omgeving toeschrijven. In het vervolg pakte Newton de draad van Galilei's resultaten op met de ontwikkeling van zijn gravitatie-theorie. Zoals ik eerder beschreef (pagina's 327 & 337 e.v.), wilde Newton een theorie ontwikkelen die zowel de bewegingen van 'aardse systemen' als van 'hemelse systemen' zou kunnen verklaren. Het is goed om nu in herinnering te roepen dat Newton zijn nieuwe theorie baseerde op een aanname die zeer vergelijkbaar is met Einsteins postulaat. In de aristotelische traditie nam men aan dat een voorwerp waarop geen krachten inwerken ook niet kan bewegen, en dus in stilstand moet zijn. Zoals beschreven ontdekte Newton dat hij alleen een kloppend wiskundig model kon ontwikkelen door deze oude aanname te verwerpen en te vervangen door een nieuwe, namelijk dat een 'puntmassa', die zich in een 'lege ruimte' bevindt, volhardt in een rechtlijnige beweging met een constante snelheid. Met andere woorden: wanneer een voorwerp volhardt in een beweging met constante snelheid, dan hoeft er geen kracht aangenomen te worden om dit te verklaren; pas wanneer de snelheid *verandert* (van grootte of van richting) moet er een kracht in het spel zijn. Deze nieuwe aanname vervult ook in Newtons theorie de rol van een axioma (of postulaat) waarop het wiskundige bouwwerk gefundeerd is. Het is goed om zich te realiseren dat dit postulaat van Newton in zijn tijd even revolutionair en contra-intuïtief was, als Einsteins postulaat van de absolute lichtsnelheid aan het begin van de 20^e eeuw. Bovendien trok Newton zich niets aan van een andere vanzelfsprekend geachte aanname, namelijk de eveneens van Aristoteles afkomstige aanname dat krachtwerking-op-afstand niet bestaat¹⁰⁶. Deze oude vanzelfsprekendheid werd door Newtons opvolgers vervangen door de nieuwe aanname dat lichamen een 'aantrekkingskracht-op-afstand' (F) op elkaar

Figuur 16

$$F = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

uitoefenen die evenredig is met hun massa's (m_1, m_2), en omgekeerd evenredig met het kwadraat van hun afstand (r) (zie figuur 16). Opnieuw is het goed om ons te realiseren dat in die tijd deze vervanging van aannames even revolutionair was als Einsteins latere vervanging van de aannames van absolute tijd en ruimte door zijn concept van relatieve 'ruimtetijd'.

¹⁰⁶ Dijksterhuis beschrijft hoe Newtons resultaten op dit punt door tijdgenoten zoals Boyle, Huygens en Leibniz daarom gekwalificeerd werden als *terugval naar overwonnen opvattingen*, als *verraad aan de goede zaak der natuurwetenschap*, of als een *absurd* idee (1975, pp. 525-527). Newton verdedigde zich tegen deze kritiek door te stellen dat hij slechts een mathematisch-formele beschrijving van bewegingswetten had ontwikkeld, en geen hypothesen wilde verzinnen ("*hypotheses non fingo*") omtrent de werkingen die daaraan ten grondslag lagen. In een brief aan Bentley beschrijft hij krachtwerking op afstand zelfs als "*een zo grote absurditeit, dat ik niet geloof, dat iemand die op filosofisch gebied tot oordelen bevoegd is, er ooit in kan vervallen*" (E. J. Dijksterhuis, 1975, pp. 527-535). Zie ook (van der Wal, 2011, pp. 279, 303).

De vergelijking van de revoluties die eerst Galileï en Newton en later Einstein tot stand brachten, leert ons dat in alle gevallen de wiskundig-formele modellen die deze fysici ontwikkelden, werden 'omkleed' met aannames over niet-observeerbare werkingen en werkelijkheden. Net zo goed als Newtons axioma, van de rechtlijnige beweging met constante snelheid, een bedenksel was dat hij nodig had om zijn calculus te kunnen funderen; net zo goed was Einsteins postulaat van de absolute lichtsnelheid een bedenksel dat hij nodig had om zijn calculus te kunnen funderen. Net zo goed als de opvolgers van Newton er op grond van zijn calculus toe kwam om te concluderen dat men dan toch maar weer de 'mystieke' notie van kracht-op-afstand in ere moest herstellen; net zo goed concludeerde Einstein dat het beter was om deze notie van kracht-op-afstand toch maar weer te verwerpen, en gravitatie te gaan beschrijven als kenmerk van een niet-observeerbare 4-dimensionale ruimtetijd met krommingen.

Tegen de achtergrond van deze vergelijkingen, die nog met veel andere voorbeelden uitgebreid kunnen worden, kan ik mij goed voorstellen dat Russell concludeert dat wij eigenlijk alleen maar *weten* dat bepaalde formele modellen overeenstemmen met controleerbare observaties. De hele rest daaromheen, de namen, de metaforen, de vermoedens over niet-observeerbare achtergronden, stelt niet meer voor dan onwetendheid. Onwetendheid die namen krijgt, waar we aan gewend raken, die op den duur vanzelfsprekend worden en geen verwondering meer wekken, en die zodoende op den duur illusies van begrip of kennis gaan oproepen. Illusies, die bij iedere volgende stap van de ontwikkeling van fysica weer door opvolgers ontmaskerd kunnen worden met de opmerking, dat het geven van namen nog niet betekent dat men iets begrijpt.

Daarnaast moet echter erkend worden dat het niet verboden kan of moet worden om namen te geven, om metaforen te gebruiken, en om zaken die wij niet (helemaal) begrijpen in fictieve termen te beschrijven. In tegendeel, de fysische wetenschap heeft deze 'omkledingen' van haar formele calculi hard nodig. Daarom zal ik nu het belang daarvan in enkele punten samenvatten:

- Zoals ik in de paragraaf over modellen en metaforen toelichtte (pagina 328 e.v.) begint modelontwikkeling vaak met een naam en een metafoor. Ook al begreep men nog niets van de voortplanting van licht, men gaf het toch de naam 'lichtstraal' en impliceerde daarmee de vergelijking van licht met een supersnelle pijl. Zonder dit begin was de calculus van de geometrische optica er nooit gekomen.
- Ook wanneer een calculus eenmaal bestaat, blijven meta-talen nodig om het *over* de calculus te kunnen hebben. In deel II werden calculi vergeleken met het schaakspel (hoofdstuk 5, § 3.a). Om *over* dit spel te kunnen spreken, met welk doel dan ook, is het nodig dat de stukken nog steeds namen hebben, zodat men iets kan zeggen *over* 'paard' of 'koningin' ook al hebben deze namen ondertussen nauwelijks meer iets met de oorspronkelijke betekenis te maken. Zo is het ook voor de geometrische optica nodig dat er gesproken kan worden *over* 'brandpunt' en 'breking' ook al hebben deze namen ondertussen nauwelijks meer iets met 'branden' of 'breken' in de dagelijkse betekenis te maken.

- Dit belang om het *over* een fysische calculus te kunnen hebben betreft een ruimere kring van belanghebbenden dan alleen de fysici zelf. Ook ingenieurs die toepassingen van fysische kennis ontwikkelen hebben een dergelijke taal nodig om hun ontwikkelwerk te kunnen doen, om daarbij te kunnen samenwerken, et cetera.
- Voor *gebruikers* van deze toepassingen lijkt dit belang minder groot. De calculi uit de formele modellen zitten voor gebruikers immers 'verstopt' in apparaten, zodat zij zich over die berekeningen geen zorgen hoeven te maken. Men kan een televisietoestel aanzetten en het omrekenen van de ontvangen elektromagnetische signalen naar beeld en geluid overlaten aan de 'machinale rekenslaaf' die in het toestel is ingebouwd. En zo kan men ook GPS-navigatie gebruiken en het rekenwerk (waaronder relativistisch rekenwerk) overlaten aan een keten van 'machinale slaven' die ingebouwd zijn in grondstations, in satellieten, en in de auto. Maar, wanneer men niets begrijpt van al deze calculi en niet over taal beschikt om daarover te spreken en na te denken, dan laat men zich degraderen tot blinde gebruiker van 'black boxes', die volkomen afhankelijk is van wat technocraten, politieke- of commerciële belanghebbenden hem willen doen geloven. Voor kritische gebruikers is het van groot belang dat zij eerst op school (onder andere) taal en begrip met betrekking tot deze formele systemen hebben opgedaan, en zich op basis daarvan later verder kunnen informeren.

Maar, wanneer het realisme en de objectiviteit van de fysica vooral belichaamd zijn in haar formele calculi, *moet een nieuwe taal, die de ontwikkeling van nieuwe calculi noodzakelijk begeleidt, dan alleen maar gezien worden als een nieuwe aankleding met onwetendheid die geen haar beter is dan de oude?*

Het lijkt mij dat het antwoord op deze vraag ontkennend moet zijn. Er zijn goede redenen op grond waarvan betoogd kan worden dat de ene onwetendheid als 'beter' beschouwd kan worden dan een andere onwetendheid. Daarom maak ik hier graag gebruik van de aan Keizer (2012) ontleende uitdrukking '*verbeterde onwetendheid*'. In het geval van de relativiteitstheorie zie ik drie redenen waarom men de taal die haar wiskunde omkleedt kan beschouwen als belichaming van onwetendheid die beter is dan de onwetendheid van haar voorgangers.

1. In de nieuwe taal worden oude vormen van onwetendheid expliciet gemaakt. Impliciete aannames die eeuwenlang gehanteerd werden (zoals de aanname van absolute ruimte en absolute tijd), worden expliciet gemaakt als aannames, die bovendien niet op kennis-van-zaken maar op vooroordelen of projecties gebaseerd waren. De nieuwe taal is beter omdat zij gebaseerd is op méér ervaring met 'ontnuchtering' dan de oude taal. Hoe langer de geschiedenis van de fysica wordt, hoe meer ervaring met 'ontnuchtering' daarin opgeslagen is. Wanneer men die geschiedenis niet vergeet, maar bereid is om daarvan te leren, dan kan dat deze fysici steeds beter in staat stellen om de kracht en de beperkingen van hun kennis realistisch in te schatten.
2. De namen, de metaforen, de denktrant van de klassieke fysica bereikte na verloop van tijd een fase waarin deze geen werkelijk nieuwe ontwikkelingen meer ople-

verde. Bovendien liep men in die fase tegen steeds meer problemen aan waar men vanuit het 'oude denken' geen bevredigende oplossing voor had. De spanning tussen de neiging om de oude zekerheden niet op te geven, en anderzijds de behoefte aan een nieuwe benadering nam toe. Wanneer in een dergelijke fase een nieuwe taal opkomt dan kunnen creatieve onderzoekers daardoor sterk gemotiveerd worden om nieuwe terreinen te ontginnen, en de nieuwe benadering in praktijk te brengen. Zij ontlenen aan die nieuwe taal inspiratie en motivatie die de oude taal steeds minder te bieden had. In die zin is voor hen en op dat moment de nieuwe taal beter dan de oude.

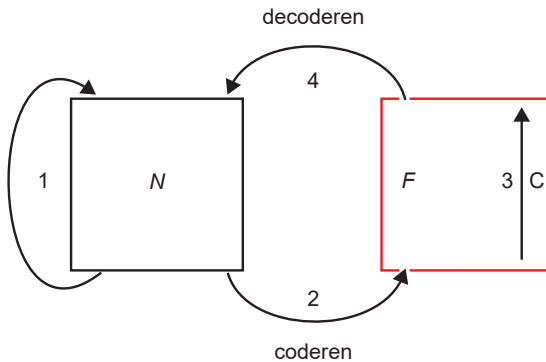
3. Een nieuwe taal ondersteunt formele modellen die verfijnder zijn dan de oude. Meer verfijnd in de zin dat zij, zoals de relativiteitstheorie, steeds standpuntonafhankelijker worden, of doordat zij samenhang brengen in steeds grotere gebieden van kennis (zoals Einsteins unificatie van massa en energie). Maar ook meer verfijnd in de zin dat nieuwe modellen steeds nauwkeuriger rekenschap geven van observaties. Daarom kan men ook stellen dat een nieuwe taal beter is dan een oude, omdat deze meer verfijnde modelvorming ondersteunt.

Gehandhaafde mechanica

Bij alle veranderingen die de relativiteitstheorie bracht moet niet vergeten worden dat ook dit nieuwe natuurbeeld blijft berusten op fundamentele uitgangspunten van de klassieke mechanica.

1. De kern van model F is een formele calculus C die 'semantisch blind' uitgevoerd kan worden.

Figuur 17



2. De observaties die dienen als input voor F , en de observaties die F als output oplevert, zijn observaties van primaire kenmerken van een natuurlijk systeem N .
3. De door F gegenereerde output klopt nauwkeurig met observaties die door verschillende observatoren onafhankelijk van elkaar zijn gedaan (ook indien deze output een kansverdeling is).

4. Toekomstige toestanden van systeem N worden uitsluitend door voorafgaande toestanden bepaald (het principe van recursieve gevolglijkheid, zie pagina's 339, 343 en 357).
5. Toestandsveranderingen van systeem N als geheel kunnen afgeleid worden uit toestandsveranderingen van de deelsystemen waaruit N is opgebouwd (het principe van synthetische gevolglijkheid, zie pagina's 343 en 357).

De relativiteitstheorie heeft alleen de context veranderd waarbinnen deze uitgangspunten gelden. De redenen voor het handhaven van de oude uitgangspunten kunnen nu als volgt samengevat worden:

- Het inzicht dat observaties veel afhankelijker zijn van het standpunt van een observator dan eerder werd gedacht, laat de geldigheid van het 2^e en 3^e uitgangspunt onaangetast. Nog steeds worden geluiden, geuren en kleuren herleid tot primaire kenmerken; en wanneer men een theoretisch voorspelde observatie wil toetsen aan een feitelijke observatie, dan moeten de relevante kenmerken van het specifieke observatie-standpunt eenvoudigweg meegerekend worden in de voorspelling. Dit laatste geldt uiteraard ook voor het coderen: ook daar moeten relevante kenmerken van het observatiestandpunt in de input van F worden meegenomen.
- Ten aanzien van het 4^e en 5^e punt geldt nog steeds dat functionaliteit wordt uitgesloten (pagina's 339, 371 e.v.). Verder geldt in de nieuwe context slechts de beperking, dat het afleiden van gevolgen alleen mogelijk is wanneer de toestandsveranderingen van systeem N in één RT-geschiedenis verenigd kunnen worden (pagina 397).

Tenslotte kan de conclusie getrokken worden *dat ook de relativistische mechanica met het volste recht nog steeds mechanica kan heten* omdat deze theorie trouw blijft aan de bovengenoemde uitgangspunten.

Conclusies

Als afsluiting wil ik nu eerst de betekenis van de relativiteitstheorie voor het natuurbeeld van de fysica samenvatten, aan de hand van Russell's visie daarop. Daarna zal ik mijn vermoeden omtrent Russell's wetenschapsfilosofische positiekeuze formuleren.

De keuze om zich te beperken tot zichtbare en tastbare ('primaire') kenmerken van de waarneembare werkelijkheid staat aan het begin van de moderne fysica. Russell veronderstelt dat men op deze wijze kennis wil ontwikkelen *waar alle observatoren het over eens kunnen worden* (pagina 398). Met andere woorden: over geluiden, geuren en kleuren kunnen waarnemers het moeilijk eens worden, maar aan discussies over zichtbare en tastbare kenmerken kan –onder de juiste voorwaarden– een eind gemaakt worden, en kunnen onloochenbare feiten *objectief* vastgesteld worden.

De wetenschap die zich op basis van dit uitgangspunt ontwikkelde bleek al snel in staat om steeds meer gebieden van observeerbare werkelijkheid in kaart te brengen. Inclusief gebieden die niet direct (met het blote oog of met blote handen) observeerbaar

zijn. Dit begint al bij de mechanica van Newton, die gebaseerd was op technieken om met behulp van steeds geavanceerdere kijkers hemellichamen te observeren met een nauwkeurigheid die met het blote oog onbereikbaar is. In wisselwerking met die steeds nauwkeuriger observaties ontdekten de fysici ook de vormen van wiskunde (calculi) die even nauwkeurig met deze observaties bleken te corresponderen. Zodoende konden steeds grotere terreinen van observeerbare werkelijkheid mathematisch in kaart gebracht worden. De mechanica van Newton was in dit opzicht een indrukwekkend succes.

Ook voor de mechanica van Newton gold al dat deze een terrein van objectieve realiteit in kaart bracht dat de menselijke maat van dagelijkse ervaringen en waarnemingen ver te buiten gaat. Gebaseerd op observaties waar menselijke zintuigen zonder hulpmiddelen niet toe in staat zijn, resulteert deze fysica in kennis omtrent een zonnestelsel waar afstanden in miljoenen kilometers gerekend worden, en waar de zon als centrum een massa en een energie vertegenwoordigt die fysici weliswaar in getallen kunnen uitdrukken, maar die voor een mens volstrekt onvoorstelbaar zijn.

Op deze weg is de fysica steeds verder voortgegaan. De objectieve realiteit waar zij betrekking op heeft is steeds meer bemiddeld door geavanceerde instrumenten en geavanceerde wiskunde, en komt steeds verder af te staan van dagelijks ervaren werkelijkheid, en van de taal en de intuïties die op dagelijkse ervaringen gebaseerd zijn. In de woorden van Russell: wat we echt *weten* dat is wat we met het blote oog van onze instrumenten kunnen aflezen, en tastbaar voorhanden hebben, en verder *weten* we ook dat we een wiskunde gevonden hebben die heel nauwkeurig rekenschap kan geven van onze observaties. Maar, de objectieve natuur van de natuurkunde, zoals die beschreven wordt in de symbolen van formele calculi, komt, zowel door al die bemiddelingen als door de bovenmenselijke dimensies (in het groot, in het klein, of in abstracto) van de ontdekkingen, zover af te staan van de menselijke maat van onze ervaringen en zintuiglijke vermogens, dat wij te vergelijken zijn met de dove die wel het notenschrift kan lezen maar zich de echte muziek niet kan voorstellen (pagina 399).

Een tweede aspect van het natuurbeeld van de natuurkunde wordt bepaald door *de wonderlijke doeltreffendheid van wiskunde*¹⁰⁷. Iedere keer wanneer fysici –na veel moeite– een calculus ontdekken die recht doet aan nieuwe of nauwkeuriger observaties, dan blijkt die calculus adequaat te zijn voor een nog veel groter gebied van verschijnselen dan zij zelf hadden durven hopen. Dat geldt ook voor de speciale en de algemene relativiteitstheorie. Nadat Einstein deze theorieën aan het begin van de 20^e eeuw ontwikkelde zijn er talloze experimenten en observaties uitgevoerd waarvoor deze theorie nog steeds volkomen adequaat blijkt te zijn. Deze ervaringen vestigen de indruk dat het een essentieel kenmerk is van de natuur van de natuurkunde, dat deze "*op een mathematisch stra-*

¹⁰⁷ Deze formulering ontleen ik parafraserend aan Wigners *The Unreasonable Effectiveness of Mathematics* (1960).

mien geborduurd is". Van der Wal, aan wie ik deze laatste uitdrukking ontleen (2011, pp. 155-156, 407), wijst er terecht op dat deze opvatting van de fysische natuur zeer oude papieren heeft, en teruggaat op Pythagoras en Plato. Ook deze oude Grieken waren er al van overtuigd dat 'getallen' en 'wiskundige vormen' meer zijn dan alleen menselijke bedenkels, maar een essentieel kenmerk weergeven van objectieve realiteit.

Een derde aspect van het natuurbeeld van de fysica is het grote gezag dat dit beeld heeft verkregen, vanwege zijn grote en innovatieve toepasbaarheid¹⁰⁸. Fysische kennis heeft geleid tot een onvoorstelbare hoeveelheid toepassingen waarvan een groot deel ook deel geworden is van onze dagelijkse werkelijkheid. Ondanks het feit dat een theorie zoals de relativiteitstheorie niet direct in aanmerking leek te komen voor dagelijks bruikbare toepassingen, vanwege de kosmologische context en -vraagstellingen die tot deze theorie aanleiding gaven, heeft ook deze theorie zijn weg gevonden naar allerlei toepassingen zoals het tegenwoordig veel gebruikte GPS-systeem. De conclusie van Russells *ABC of Relativity* luidt dan ook: "*The final conclusion is that we know very little, and yet it is astonishing that we know so much, and still more astonishing that so little knowledge can give us so much power*" (2009, p. 145).

In zijn uit 1926 daterende Britannica-artikel voegt Russell nog een behartigenswaardige opmerking toe aan zijn constatering van deze grote toepasbaarheid. Hij stelt daar dat er ook een ernstig gevaar dreigt in de gewoonte om zaken te manipuleren op basis van wiskundige wetten, wanneer deze gewoonte wordt overgedragen op onze omgang met mensen. Een toepassing op mensen acht Russell ongepast omdat mensen, in tegenstelling tot zulke zaken als telefoontoestellen, "*are capable of happiness and misery, desire and aversion. It would therefore be unfortunate if the habits of mind which are appropriate and right in dealing with material mechanisms were allowed to dominate the administrator's attempts at social constructiveness*" (1926, p. 3). Het is mijn vermoeden dat Russell hier uitdrukking geeft aan het besef dat mechanismen, zoals de fysica die definieert, het bestaan van finaliteit, functionaliteit en betekenis uitsluiten, en dus in feite ook het bestaan van mensen uitsluiten (pagina 371 e.v.).

Aan de andere kant stelde Russell eerder in zijn betoog ook dat fysica een objectief zicht biedt op realiteit, zonder bijdragen die van observatoren afkomstig zijn (pagina 398). Wanneer ik nu deze stellingen combineer, dan lijkt het mij dat Russell in deze publicaties uit de 20er jaren van de vorige eeuw de dualistische benadering representeerde, die ik hierboven al beschreef als één van de consequenties voor het natuurbeeld, die men al aan de klassieke fysica kan ontleen (pagina 374 e.v.). De mens wordt geposi-

¹⁰⁸ Het was niet voor niets dat Philips een 'NatLab' financierde, waar natuurkundigen veel speelruimte kregen om hun wetenschappelijke passies uit te leven. Het bedrijf rekende erop dat hun vondsten vanzelf zouden leiden tot technisch en commercieel interessante toepassingen. Deze verwachting bleek inderdaad uit te komen.

tioneerd als een wezen dat naar zijn aard minstens voor een deel buiten de natuur valt, en tegenover de natuur staat. In vervolg daarop heb ik betoogd dat dit dualisme ertoe leidt dat ook de cultuur wordt gepositioneerd *tegenover* de natuur en niet als een gebied *binnen* de natuur (pagina 378 e.v.). Een dergelijke opvatting van de verhouding tussen cultuur en natuur zie ik –in navolging van anderen– als een ongewenste consequentie van dit (overigens zeer begrijpelijke) dualisme. Zoals aangekondigd zal ik in de hoofdstukken 14 en 15 proberen om een visie te formuleren die zowel dualisme als reductio-nisme vermijdt.

2 KWANTUMMECHANICA

In de vorige paragraaf werd beschreven hoe onderzoek naar raadselachtige kenmerken van licht (c.q. alle elektromagnetische straling) leidde tot twijfel aan vanzelfsprekend geachte aannames waarop het natuurbeeld van de fysica tot dan toe gebaseerd was. De relativiteitstheorie was één van de vruchten van die twijfel. In deze nieuwe paragraaf komt nu een andere revolutionaire ontwikkeling aan de orde, de kwantummechanica, die eveneens onderzoek naar raadselachtige kenmerken van licht als aanleiding had, en die eveneens aanleiding gaf tot twijfel aan fundamentele aannames van de klassieke fysica. Omdat het in mijn studie gaat om de invloed op het concept van gevolgbijheid, en om aspecten die relevant zijn voor pedagogisch leiderschap, zal ik mij opnieuw beperken tot enkele hoofdzaken.

2.a Complementariteit

Zoals in de vorige paragraaf werd beschreven berustte de 19^e-eeuwse theorie van Maxwell op een metafoer die uitgaat van de vergelijking van licht met eerder bekende golf- of trillingsverschijnselen (pagina 384). Deze 'golfmetafoer' was de opvolger van de daaraan voorafgaande 'straal-metafoer' (pagina 328). De vraag, welke vergelijking het meest recht deed aan 'de ware aard' van het licht, was eeuwenlang het onderwerp van felle discussies geweest. Omdat de kwantummechanica deze oude discussies opnieuw tot leven bracht zal ik de geschiedenis van deze discussies nu kort memoreren.

Golven toch als deeltjes

Deze geschiedenis (Stark, 2012; van Cittert, 1958) begon toen Christiaan Huygens aan het einde van de 17^e eeuw de theorie verdedigde dat licht bestaat uit trillingen, tegenover vooral Isaac Newton die de theorie verdedigde dat licht bestaat uit een stroom van deeltjes die zo klein zijn dat zij in vele verschillende media (gas, vloeistof, of glas) kunnen doordringen. De controverse over deze uitgangspunten bleef lang onbeslist, totdat de experimenten van Thomas Young aan het begin van de 19^e eeuw een beslissing leken te brengen. Hij slaagde erin om aan te tonen dat licht, dat uit twee verschillende bronnen

afkomstig is, het verschijnsel van *interferentie* vertoont¹⁰⁹. Interferentie betekent dat het licht uit de ene bron het licht uit de andere bron op sommige plaatsen uitdooft, en op andere plaatsen versterkt. Dat interferentie optreedt is alleen te begrijpen wanneer licht een trillingsverschijnsel is, en ondenkbaar bij interactie tussen deeltjes.

Later in de 19^e eeuw leek een tweede experiment een definitief einde te maken aan de deeltjes-opvatting van licht. De theorie van Huygens voorspelde namelijk dat de voortplantingssnelheid van het licht in een medium zoals water kleiner zou zijn dan in een medium zoals lucht, terwijl de theorie van Newton precies het tegenovergestelde voorspelde. In 1850 slaagde Foucault erin om de snelheden van licht zowel in lucht als in water te meten, waarbij zijn uitkomsten precies overeenkwamen met de door Huygens voorspelde verhouding tussen deze twee snelheden (Stark, 2012). De theorie van Newton leek hiermee definitief gefalsificeerd.

Maar, aan het begin van de 20^e eeuw bracht de kwantummechanica een onverwachte come-back van de deeltjes-metafoer (Stark, 2012). Het probleem van de emissie van licht door een zwart lichaam gaf de eerste aanleiding tot deze come-back. Wanneer een zwart lichaam wordt verhit begint het licht uit te stralen. Hoe hoger de temperatuur van het zwarte lichaam wordt, des te hoger wordt de gemiddelde frequentie van het uitgestraalde licht (van 'roodgloeiend' naar 'witheet', en zo voorts). Het probleem was, dat de geobserveerde frequentie-verdeling van het uitgestraalde licht in relatie tot de temperatuur niet verklaard kon worden volgens de bestaande golftheorie. Max Planck ontdekte in 1900 een mogelijkheid om deze observaties te verklaren, door aan te nemen dat het licht (c.q. alle elektromagnetische straling) niet in continue hoeveelheden wordt uitgestraald maar in discrete pakketjes die hij aanduidde als '*kwanta*'. Volgens het mathematische model dat hij vanuit deze aanname opstelde moest de energie (E) die elk kwant vertegenwoordigde evenredig toenemen met de frequentie van de straling, volgens de formule $E = h \nu$ (ν = frequentie). In deze formule is h het getal, dat later 'de constante van Planck' werd genoemd. Vervolgens bleken er nog veel meer verschijnselen te zijn, met name verschijnselen die betrekking hebben op de emissie en absorptie van straling, of op de interactie tussen straling en materie, die vanuit deze zelfde aanname verklaard konden worden. Ook Einstein trok hieruit de conclusie dat elektromagnetische straling op het allerkleinste microniveau een 'korrelige' deeltjes-structuur heeft, en stelde voor om deze stralingsdeeltjes '*fotonen*' te noemen. De formule van Planck verklaart daarbij waarom elektromagnetische straling 'energiekere' effecten heeft naar mate de frequenties hoger zijn¹¹⁰. In latere experimenten bleek ook dat fotonen zich bij

¹⁰⁹ Zie pagina 424 voor een uitvoeriger beschrijving van Youngs experiment.

¹¹⁰ Denk bijvoorbeeld aan de schade die röntgen- of gammastraling in het menselijk lichaam kan aanrichten.

botsingen met materiedeeltjes materie-achtig¹¹¹ kunnen gedragen. Bij deze botsingen kunnen zij energie overdragen en druk uitoefenen.

De succesvolle ontwikkeling van deze nieuwe deeltjes-modellen van licht (en van de andere soorten elektromagnetische straling) riepen uiteraard de vraag op, *hoe het dan mogelijk is dat er nog steeds ook verschijnselen zijn die (naar het schijnt) onweerlegbaar strijdig zijn met een deeltjes-hypothese*. Zoals de verschijnselen (breking van het licht, interferentie) die in de 19^e eeuw geleid hadden tot de falsificatie van deeltjes-modellen.

Deeltjes ook als golven

Deze vraag werd nog urgenter door ontdekkingen met een omgekeerde strekking. Het dubbelzinnige karakter van elektromagnetische straling bracht Louis-Victor De Broglie in 1924 tot de volgende redenering¹¹²: Verschijnselen, die zich volgens de observaties, die tot in de 19^e eeuw werden toegepast, als continue golfverschijnselen toonden, kunnen zich kennelijk bij anders ingerichte observaties als verschijnselen van afzonderlijke deeltjes vertonen. Zouden dan verschijnselen, die zich volgens de vertrouwde observaties als materiële deeltjes vertonen, zich misschien ook, bij andere observaties, als continue golfverschijnselen kunnen vertonen? De Broglie kon, op grond van de door hem vermoede analogie, zelfs voorspellen welke golf lengte een dergelijke trilling zou moeten hebben, bij deeltjes die bij klassieke observatie een bepaalde massa en snelheid zouden hebben.

Eén van de eerste gebieden waar De Broglie's hypothese op de proef gesteld kon worden, was het onderzoek naar de opbouw van atomen. Dit onderzoek was in een impasse geraakt, en De Broglie's benadering kon misschien een uitweg bieden. Om dit toe te lichten zal ik nu eerst beschrijven hoe de problemen ontstonden waarvoor men aanvankelijk geen oplossing had.

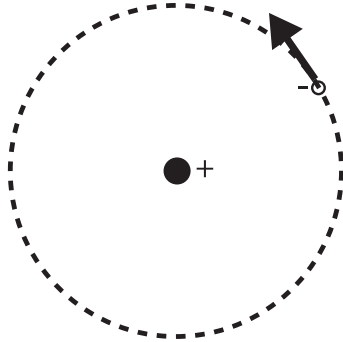
Nadat al eerder uit onderzoek gebleken was dat atomen opgebouwd zijn uit negatief geladen elektronen en een positief geladen kern, probeerden onderzoekers meer te weten te komen over de precieze opbouw door het bombarderen van atomen met kleine deeltjes. Daarbij bleek dat deze deeltjes voor het grootste deel zonder enige hinder dwars door het atoom heen vlogen, en dat slechts een klein deel verstrooid werd omdat het op een kern botste. Rutherford kon tenslotte, in 1913, uit deze experimenten opmaken dat het atoom voor verreweg het grootste deel uit lege ruimte bestaat, met in het midden een kleine positief geladen kern, en één of meer negatief geladen elektronen die op relatief grote afstand in banen om de kern cirkelen. De elektrische aantrekkings-

¹¹¹ Men moet schrijven 'materie-achtig' omdat er een principiële verschil blijft met 'gewone' materiedeeltjes: een foton verplaatst zich met de snelheid van het licht, wat (volgens de relativiteitstheorie) voor een regulier materiedeeltje onmogelijk is; en een foton kan niet bestaan bij de snelheden die normaal zijn voor reguliere materiedeeltjes.

¹¹² De hierna volgende weergave van de bijdragen van De Broglie en Schrödinger berust voornamelijk op (Zeilinger, 2005) en (Squires, 2015).

kracht tussen de kern en de elektronen had daarbij precies de waarde die nodig was om de elektronen in hun baan om de kern te houden¹¹³. Zo kwam het bekende atoommodel van Rutherford tot stand. Het atoom lijkt op een soort zonnestelsel, waarbij elektronen om de kern cirkelen zoals planeten om de zon.

Figuur 18



Dit deeltjes-model riep echter direct al lastige vragen op. Neem als voorbeeld het meest eenvoudige atoom, het waterstofatoom, dat bestaat uit een kern waaromheen slechts één elektron cirkelt (figuur 17). Een dergelijk systeem, dat uit een positieve en een negatieve pool bestaat, en dat in de ruimte een draaiende beweging maakt, werkt volgens de klassieke theorie van e-m velden als een dipool-antenne die elektromagnetische straling uitzendt. Door het uitzenden van die straling moet het elektron constant energie verliezen en naar de kern toe spiralen. Een dergelijk atoom kon, volgens de bestaande theorieën, onmogelijk een stabiel systeem vormen! Hetzelfde zou moeten gelden voor atomen met meer elektronen. Zij zouden moeten fungeren als multipool-antennes, zij zouden voortdurend straling moeten uitzenden, en zij zouden ook onmogelijk stabiel kunnen bestaan. Ziedaar de impasse.

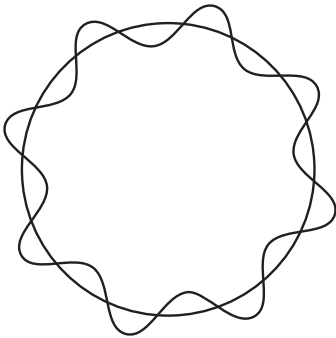
Bovendien kwamen onderzoekers, die het atoom niet met deeltjes bombardeerden maar observeerden onder welke omstandigheden atomen straling absorberen of uitzenden, tot observaties die in het geheel niet strookten met het Rutherford-model. Zij ontdekten dat atomen, zoals waterstofatomen, straling met zeer specifieke frequenties kunnen absorberen, en diezelfde straling ook kunnen uitzenden. Deze observaties bleken goed te verenigen met de hierboven al gememoreerde hypothese van Planck dat stralingsenergie op dit microniveau alleen in afzonderlijke 'lichtkwanta' voorkomt. Kennelijk kan een elektron alleen de energie van specifieke lichtkwanta absorberen, en raakt het zodoende in een 'aangeslagen toestand', die instabiel is. Na een bepaalde tijd kan het elektron weer terugvallen naar zijn 'normale toestand', en is het begrijpelijk dat het dan

¹¹³ Zie bijvoorbeeld Finkelburg § II,3 (1962a).

precies dezelfde hoeveelheid energie weer afgeeft (in de vorm van een lichtkwant) als die het eerder heeft geabsorbeerd.

De hypothese van De Broglie inspireerde Schrödinger vervolgens tot een idee voor een oplossing van de hierboven beschreven impasse, en voor een verklaring van de absorptie en emissie van stralingskwanta. In navolging van De Broglie nam hij aan dat men het elektron kan opvatten als een trilling. Men kan zich dan voorstellen dat alleen trillingen met specifieke golflengten precies passen in de afmetingen van de ruimte waarin de trilling zich bevindt. In een tweedimensionaal plaatje is dat voor te stellen volgens figuur 19. Deze situatie is te vergelijken met de snaar van een viool waarop alleen trillingen van specifieke golflengtes passen, of met het vel van een trommel waarop ook alleen trillingen passen met specifieke golflengtes. Schrödinger slaagde erin om, uitgaande van deze aannames, een mathematisch model van het waterstofatoom te formuleren dat de antenne-impasse oplost en dat de stralingseigenschappen ervan nauwkeurig kon verklaren.

Figuur 19



De impasse werd opgelost omdat het elektron volgens dit nieuwe model niet een deeltje is dat zich in een baan beweegt, maar een 'staande trilling' is, die overal aanwezig is in een bepaald gedeelte van de ruimte rond de kern. Er is dus geen sprake meer van een bewegende dipool- of multipool-antenne, en daarom is ook begrijpelijk dat een dergelijk systeem zich in een stabiele toestand kan bevinden, zonder dat er energie wegglekt. Bovendien werd begrijpelijk dat een dergelijk systeem een precies afgebakende hoeveelheid energie kan absorberen om in een trillingstoestand met hogere frequentie en hogere energie te komen. Dit is vergelijkbaar met de snaar van een viool die niet alleen volgens zijn 'basistoon' kan trillen, maar ook volgens zijn 'boventonen'. En tenslotte werd begrijpelijk dat een elektron in hogere trillingstoestand kan terugvallen naar een trilling met lagere frequentie en energie, en dat daarbij een lichtkwant wordt uitgezonden met een energie die precies overeenkomt met het energieverval tussen de twee trillingstoelstanden.

Omdat men al eerder ervaring had opgedaan met de dubbelzinnige benaderingen van elektromagnetische fenomenen (zoals licht), verbond men aan de ontwikkeling van

de 'golfvoorstelling' van het elektron niet langer de conclusie dat het elektron dus een golfverschijnsel *is*. Dat kon ook niet omdat een deeltjes-atoommodel zoals dat van Rutherford nog steeds adequaat bleek voor andere verschijnselen die men onder andere observatie-condities kan waarnemen, en die weer niet te rijmen zijn met de 'trillingsvoorstellingen' van De Broglie, Bohr en Schrödinger. De conclusie die verbonden werd aan de succesvolle ontwikkeling van het nieuwe atoommodel hield in, dat het vermoeden van De Broglie, dat ook materie op twee tegenstrijdig lijkende wijzen kan verschijnen, voor elektronen bevestigd was.

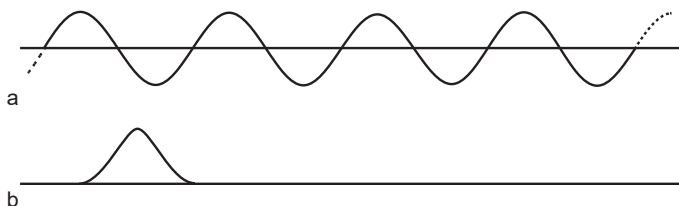
Nadien zijn er zeer veel experimenten gedaan met allerlei andere deeltjes, zoals neutronen, protonen, en zelfs hele atomen en moleculen, waarbij ook al deze experimenten de hypothese van De Broglie volkomen bevestigden (Zeilinger, 2005, pp. 103-106). Welke deeltjes we ook kiezen, wanneer de condities van de observatie maar zijn zoals De Broglie voorspelde, dan vertonen zij gedrag (bijvoorbeeld interferentie) dat beslist niet verenigbaar is met een deeltjesvoorstelling, en alleen verenigbaar met modellen van golfverschijnselen. Het gevolg is, dat we ons niet meer kunnen voorstellen waar we mee te maken hebben wanneer de materiële deeltjes, waarvan we zeker dachten te weten dat zij de elementaire bouwstenen waren van zicht- en tastbare materie, bij een anders ingerichte observatie trillingen (b)lijken te zijn in één of ander 'veld'. Trillingen die elkaar bijvoorbeeld kunnen uitdoven en versterken zoals alleen trillingen dat kunnen doen.

De onweerlegbare uitkomsten van al deze experimenten dwongen fysici om te accepteren dat de vanzelfsprekende logica, die het deeltje-trilling vraagstuk eeuwenlang tot een óf-óf kwestie had gemaakt, kennelijk in de kwantumwereld niet opgaat. Men moest in andere termen dan 'tegenstrijdigheid' of 'onverenigbaarheid' over de deeltje-trilling kwestie leren denken en spreken. De nieuwe naam, die sindsdien het denken en spreken in termen van én-én logica in één begrip samenvat, is: *complementariteit*.

De onzekerheidsrelatie

Maar, zodra een dergelijk concept ingang heeft gevonden roept het ook nieuwe vragen op. In de fysica riep complementariteit de vraag op, hoe dit verschijnsel nader verklaard zou kunnen worden. Met een verklaring die, volgens de spelregels van de fysica, in de taal van een mathematisch model geformuleerd moest worden.

Figuur 20



Het was Werner Heisenberg die in 1927 de sleutel tot het antwoord op deze vraag vond ('t Hooft, 2014, pp. 26-27; Finkelburg, 1962a, pp. 163-168). Hij begon bij de con-

statering dat er ook bij macro-fysische golfverschijnselen kenmerken zijn die niet via één observatiewijze nauwkeurig te bepalen zijn. Wanneer men bij een golfverschijnsel hetzij de frequentie, hetzij de momentane plaats van een golftop precies wil bepalen dan moet er ook gekozen worden voor één van twee observatiewijzen. Denk bijvoorbeeld aan een snaarinstrument. Wanneer men een gitaar of een viool zo precies mogelijk wil stemmen dan moet men de toon enige tijd aanhouden en de toonhoogte observeren totdat die na enige tijdsduur duidelijk is (figuur 20a). Het moment in de tijd waarop de toon precies begonnen is, of hoe lang die precies doorklinkt zal voor die observatie onzeker zijn. Wil men echter met ditzelfde instrument een korte toon produceren die op één precies te bepalen moment waargenomen kan worden, dan zal het bepalen van de toonhoogte onzekerder worden naar mate de toon preciezer op één tijdsmoment te lokaliseren is (figuur 20b). Ook tussen deze twee observatievormen geldt een vorm van complementariteit: wanneer men aan het ene doel probeert te beantwoorden wordt het andere doel niet gediend, en omgekeerd. Heisenberg slaagde erin om deze metafoor uit te werken tot een mathematisch model voor de kwantummechanische complementariteit¹¹⁴. Dit model werd bekend en beroemd als de onzekerheidsrelatie van Heisenberg (figuur 21)¹¹⁵. In deze formule staat Δx voor de onzekerheid van een 'deeltjeskenmerk' (de momentane plaats in de ruimte, te vergelijken met de golftop in figuur 20b), en Δp staat voor de onzekerheid van een 'golfkenmerk' (aangezien p correspondeert met de golflengte λ te vergelijken met de 'toonhoogte' in figuur 20a). Het product van die onzekerheden is altijd ongeveer gelijk aan h (de constante van Planck, pagina 409), hetgeen impliceert dat de nauwkeu-

Figuur 21

$$\Delta x \times \Delta p \approx h$$

- ¹¹⁴ De hier gegeven uitleg van de onzekerheidsrelatie wijkt af van een andere gangbare maar onjuiste uitleg, die de onzekerheidsrelatie verklaart als gevolg van een 'meetprobleem' (zie bijv. Zeilinger (2005, pp. 159-164)). Heisenberg heeft zelf aanleiding gegeven tot deze onjuiste uitleg, maar zich daarvan later ook gedistantieerd. Finkelburg, die Heisenberg goed kende, stelt dat de onzekerheid waarvan hier sprake is van een totaal andere orde is dan de verstoring door een thermometer van de warmte van een systeem (1962a, pp. 167-168, 180-181). De onzekerheidsrelatie "*stellt als Folge des Welle-Teilchidualismus eine prinzipielle Genauigkeitsgrenze für die Messung zueinander komplementärer Systemgrößen dar*" (1962a, p. 168).
- ¹¹⁵ In woorden: het product, van de onzekerheid in plaatsbepaling en de onzekerheid in impulsbepaling, is ongeveer gelijk aan h (de constante van Planck). In de literatuur komt men ook formuleringen tegen met $h/2\pi$ of $h/4\pi$ in plaats van h . Dit hangt af van de verschillende wijzen waarop de onzekerheden Δx en Δp gedefinieerd kunnen worden (Finkelburg, 1962a, p. 165).

righeid van de bepaling van een deeltjeskenmerk uiteindelijk ten koste gaat van de nauwkeurigheid waarmee een golfkenmerk bepaald kan worden, en omgekeerd¹¹⁶.

Aangezien fysici in het algemeen streven naar observaties die zo nauwkeurig mogelijk zijn, moeten zij, al naar gelang zij de ene of de andere variabele nauwkeurig willen meten, kiezen voor de ene of de andere inrichting van hun observaties.

Het antwoord van Heisenberg op bovenstaande vraag was dus: een micro-fysisch kwantumobject is niet uitputtend te vergelijken met macroscopische deeltjes of met golfverschijnselen zoals de golven op een wateroppervlak, het trillen van een snaar, of de voortplanting van geluid in lucht; *het is een voorwerp van onderzoek waarvan sommige kenmerken slechts nauwkeurig bepaald kunnen worden in observaties die erop ingericht zijn om golfkenmerken te meten, terwijl andere kenmerken slechts nauwkeurig bepaald kunnen worden in observaties die erop ingericht zijn om deeltjeskenmerken te meten.*

Samenvatting

De complementariteit, die in de loop van de hiervoor beschreven ontwikkelingen aan het licht werd gebracht, kan nu als volgt worden samengevat:

1. Elektromagnetische straling kan alleen maar bestaan in veelvouden van Plancks energiepakketjes. Bij bepaalde inrichtingen van observatie¹¹⁷ kan het gedrag van deze 'pakketjes' volkomen vergelijkbaar zijn met het gedrag van 'harde deeltjes', die men dan 'fotonen' noemt ('t Hooft, 2014, p. 24).
2. Alles wat een zekere energie heeft, of het nu 'straling' is of 'materie', gaat geassocieerd met een golf, waarvan de trillingsfrequentie door Plancks formule (pagina 409) wordt bepaald. Bij bepaalde inrichtingen van observatie¹¹⁸ kan daarom ook het

¹¹⁶ De precieze interpretatie van deze relatie is nog steeds een punt van discussie. Kirschenmann (2001a) betoogt bijvoorbeeld dat de relatie begrepen moet worden als $\Delta\psi q$. $\Delta\psi p \geq \hbar/2$, hetgeen impliceert dat het product van de standaard-deviaties in de mogelijke waarden van p en van q gelijk is aan of groter is dan $\hbar/2$. Dit impliceert dus *niet* dat de ene onzekerheid groter moet worden in de mate waarin de andere kleiner wordt. Het is immers een *ongelijkheidsrelatie*. Voor het geval men de ene onzekerheid minimaal wil hebben (naderend tot 0) impliceert het *wel* dat de waarde van de andere onzekerheid moet naderen naar oneindig.

¹¹⁷ Bij deze 'bepaalde inrichting van observatie' kan men denken aan observaties van interacties tussen fotonen en elektronen, zoals bij het 'Compton-effect', waarbij uit een röntgen- of gammastraal fotonen op elektronen kunnen botsen, en zowel de verstrooiing van de fotonen als de energieoverdracht tussen fotonen en elektronen mathematisch overeenstemt met de botsingswetten tussen geïdealiseerde biljartballen (Finkelburg, 1962a, pp. 159-161).

¹¹⁸ Bij deze 'bepaalde inrichting van observaties' kan men denken aan observaties van een elektronenstraal die bij interactie met een roosterstructuur, zoals aanwezig in een kristal of een metaal, precies dezelfde interferentie- en buigingsverschijnselen vertoont die ook elektromagnetische stralen vertonen (Finkelburg, 1962a, pp. 162-163).

gedrag van 'materiële' deeltjes volkomen vergelijkbaar zijn met golfverschijnselen ('t Hooft, 2014, p. 24).

3. De complementariteit is dus niet alleen een kenmerk van kwantum-fysische systemen, maar ook van de inrichting van observatie. Complementaire inrichtingen van observatie maken complementaire kenmerken van kwantumfysische systemen nauwkeurig observeerbaar. Het is onmogelijk om de observatie zodanig in te richten dat complementaire kenmerken van kwantum-fysische systemen tegelijk nauwkeurig en zeker observeerbaar zijn¹¹⁹.

2.b Kwantumtoeval

De kwantum-complementariteit blijkt dus te gelden voor *alle* elementaire 'deeltjes', ongeacht de vraag of zij traditioneel als 'materie' of als 'straling' werden opgevat. Daarbij is het goed om te begrijpen dat de onzekerheidsrelatie een kans-theoretische betekenis heeft (Finkelburg, 1962a, pp. 179-181; Kirschenmann, 2001a, p. 42). In samenhang met de onzekerheidsrelatie kan complementariteit vertaald worden als: wanneer men de observatie zodanig inricht dat de observatie van sommige kenmerken zo nauwkeurig mogelijk is, dan wordt de observatie van complementaire kenmerken een kwestie van toeval en kansrekening¹²⁰. Het gegeven dat toeval in de kwantummechanica een belangrijke rol speelt is dus een directe consequentie van complementariteit.

De raadselachtige betekenissen van Ψ en Ψ^2

Het toeval dat wij in de kwantummechanica tegenkomen heeft een bijzonder karakter. Om dit duidelijk te maken moet ik nu eerst iets dieper ingaan op de theorie. Zoals beschreven op pagina 412, zette Schrödinger de drieste stap om elektronen, die tot dan toe door ieder als materiële deeltjes werden opgevat, toch maar eens als een soort van trilling te beschrijven (Finkelburg, 1962a, pp. 172-179). Hij deed dit door het ontwikkelen van een formele calculus waarin hij een symbool Ψ (de Griekse hoofdletter psi) invoerde. Hij liet daarbij in het midden wat dit symbool in de fysische werkelijkheid zou kunnen betekenen, maar hij gaf aan dit symbool in zijn calculus een 'trillingsrol'. Dit laatste impliceerde dat de waarde van Ψ in zijn calculus periodiciteit toegekend kreeg, zodat de waarde van Ψ in de loop van de tijd herhaaldelijk verandert volgens een bepaalde *frequentie* (ν). Daarnaast werd de rol van Ψ in het formele 'spel' van deze calculus zodanig bepaald dat de in Ψ belichaamde trilling zich met een *snelheid* (u) in de ruimte uitbreidt, en er met Ψ dus ook een bepaalde *golflengte* (λ) geassocieerd kon worden. Het in deze calculus vervatte model bleek zeer succesvol, omdat vele kenmerken van atomen (zoals de atoom-specifieke spectraallijnen) met behulp van dit 'trillingsmodel' exact verklaard en voorspeld konden worden.

¹¹⁹ Zie ('t Hooft, 2014, p. 26; Finkelburg, 1962a, p. 220; Zeilinger, 2005, pp. 167-169)

¹²⁰ Hetgeen overeenkomt met de interpretatie van Kirschenmann, zie voetnoot 116.

De formele structuur van deze calculus had Schrödinger 'afgekeken' van de Maxwell-vergelijkingen met behulp waarvan elektromagnetische straling al langer werd beschreven. Schrödingers nieuwe calculus had zodoende het 'trillingsgedrag' van elektronen volgens een formeel model beschreven dat ook geschikt is om elektromagnetische straling te beschrijven. Zodoende bracht hij een belangrijke unificatie tot stand. In het geval van 'immateriële' elektromagnetische straling, die zich met de lichtsnelheid voortplant, is het duidelijk dat Ψ correspondeert met de sterkte van het elektromagnetische veld. Maar, *waarmee correspondeert Ψ in het geval van elektronen, die altijd zijn opgevat als materiële deeltjes die zich met lagere snelheden dan de lichtsnelheid voortbewegen?*

Het lukte aan Max Born om op deze vraag een overtuigend antwoord te vinden. Hij toonde aan dat Ψ^2 correspondeert met de waarschijnlijkheid om (met een passende observatiemethode) op een bepaald moment en op een bepaalde plaats een elektron als een deeltje te kunnen detecteren¹²¹. Deze interpretatie van Ψ^2 bleek bovendien net zo goed op te gaan voor de waarschijnlijkheid om op een bepaalde plaats een foton als een deeltje te kunnen detecteren (Zeilinger, 2005, pp. 39-44). Borns interpretatie geldt dus voor alle situaties waarin kwantumsystemen als deeltje(s) geobserveerd worden. Zodoende maakte Born duidelijk hoe Ψ^2 in het algemeen een brug slaat tussen de complementaire verschijningswijzen van kwantumsystemen als trillingen of als deeltjes. Het samengaan van deze verschijningswijzen blijft echter onvoorstelbaar. Men probeert het bijvoorbeeld te benaderen door te zeggen, dat de aanwezigheid van het elektron 'uitgesmeerd' is over een bepaalde ruimte, wanneer het als een staande trilling in een stabiele baan om de atoomkern zit (zie pagina 412). Maar, het is dan onvoorstelbaar hoe een van buiten komend gamma-foton zodanig op dat 'uitgesmeerde' elektron kan botsen dat het uit zijn baan om het atoom geslagen wordt, en ook zodanig dat de energie- en impuls-overdracht tussen foton en elektron volkomen overeenstemt met botsingen tussen totaal niet-uitgesmeerde, op één plaats compleet aanwezige, ideaal-harde biljartballen¹²². En, de dualiteit van verschijningswijzen geldt in dit geval voor beide partijen. Ook het foton is in de golfvoorstelling een pakketje energie dat over een bepaalde ruimte is 'uitgesmeerd'. Wanneer het echter tot een botsing komt, dan gedragen zowel foton als elek-

¹²¹ In werkelijkheid is het iets ingewikkelder omdat Ψ (zoals gebruikelijk in de golfmechanica) een complexe functie is, en de waarde van Ψ dus een complex getal is. Het product van Ψ met zijn complex geconjugeerde Ψ^* is dan weer een reëel getal. In plaats van Ψ^2 moet dus eigenlijk gelezen worden $\Psi\Psi^*$. Dit reële getal wordt in het Duits aangeduid als 'Aufenthaltswahrscheinlichkeit' (Finkelburg, 1962a, p. 179).

¹²² Zie ook (Finkelburg, 1962a, p. 161). Wanneer een foton een elektron 'losslaat' van een gasatoom, dat wordt dit atoom 'geïoniseerd'. Een bekende toepassing daarvan is de beroemde Geigerteller, die berust op het zodanig versterken van een ionisatie dat deze als een 'tik' uit een luidspreker hoorbaar wordt. In principe kan men met een dergelijke teller de binnenkomende gamma-fotonen stuk voor stuk tellen (Finkelburg, 1962a, pp. 230-231).

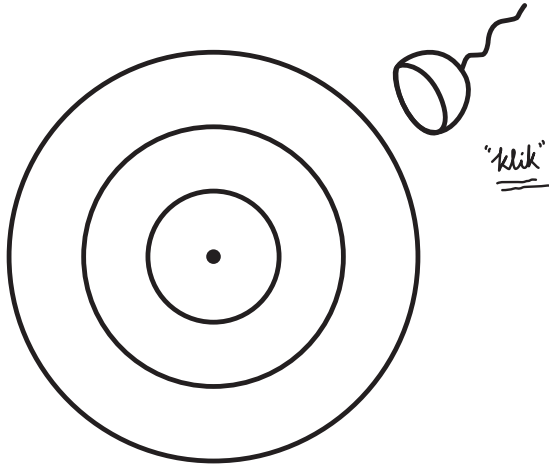
tron zich als precies gelokaliseerde, deeltjes¹²³. Óf het tot een botsing komt is een kwestie van waarschijnlijkheid, en de mate van die waarschijnlijkheid wordt bepaald door Ψ^2 .

De onmogelijkheid om ons voor te stellen hoe de twee complementaire verschijningswijzen kunnen samengaan wordt nog eens onderstreept door een ander voorbeeld, dat in de begintijd van de kwantummechanica veel discussie opriep¹²⁴. Stel dat we een zeer zwakke lichtbron hebben die van tijd tot tijd een enkel lichtkwant uitzendt. Wanneer we uitgaan van de golfvoorstelling van licht dan correspondeert met elk lichtkwant een bolvormige elektromagnetische golf die zich in de ruimte voortplant. De trillingsenergie van die golf is dan over een steeds groter wordend boloppervlak verdeeld. Zoals Born duidelijk maakte correspondeert de waarde van Ψ^2 van die golf op elke plaats in de ruimte met de kans dat daar een foton als deeltje wordt aangetroffen. Stel dat we nu ook een detector in de omgeving van de lichtbron opstellen die fotonen als deeltjes kan detecteren. Dat kan een detector zijn die, zoals een Geigerteller, uit een luidspreker een 'klik' laat horen op het precieze moment dat op die plaats een foton gedetecteerd wordt. En, wanneer we maar lang genoeg wachten, komt er beslist een moment dat we een 'klik' horen. Maar, op datzelfde moment krijgen we een groot probleem met de bolvormige golf. Want, wanneer de werkzame aanwezigheid van het foton, met de complete energie van het lichtkwant, op de plaats van de detector aangetoond wordt, dan is op datzelfde moment de verdeling van het lichtkwant over een boloppervlak verdwenen. Die overgang op dat ene moment stelt ons voor raadsels. Hoe is het mogelijk dat de energie die over een grotere ruimte verdeeld en verdund was nu ineens compleet aanwezig is op één plaats? Het heeft er natuurlijk mee te maken dat op het moment van de 'klik' de kans op het aantreffen van een deeltje (Ψ^2) op één plaats ineens 1 is, en overal elders in de ruimte ineens 0 is. Maar, dan is Ψ ook ineens overal elders 0 geworden. Hoe moeten we dan achteraf over die golven denken? Zijn die ooit wel reëel geweest, of waren het alleen door mensen bedachte 'spookgolven', zoals Einstein hen noemde (Zeilinger, 2005, p. 186)? Voor Einstein was het bovendien onaanvaardbaar dat het 'inklappen' van de bolgolf werkelijk in één ondeelbaar moment plaats zou moeten vinden. Dat zou immers betekenen dat dit 'inklapproces' zich met oneindige snelheid zou voltrekken, en zich niets zou aantrekken van de door hem aangenomen absolute bovengrens voor de snelheid van alle processen die zich in de natuur voltrekken.

¹²³ Tussen de twee soorten 'deeltjes' blijft een belangrijk verschil bestaan: fotonen bewegen zich altijd met de lichtsnelheid, en hebben geen 'rustmassa'; 'materiële' deeltjes zoals elektronen kunnen allerlei snelheden hebben, maar nooit de lichtsnelheid bereiken, en bezitten wel een 'rustmassa' (zie pagina 388).

¹²⁴ Zie onder andere (Zeilinger, 2005, pp. 186-189). Aan Zeilingers bespreking van dit voorbeeld is ook figuur 22 ontleend.

Figuur 22



Het lastige is, dat bij het bovengenoemde voorbeeld de realiteit van de golfvoorstelling ongeloofwaardig wordt. Maar, het is ook duidelijk dat bij andere voorbeelden, zoals bij interferentie, de realiteit van de deeltjesvoorstelling juist ongeloofwaardig wordt, en de realiteit van de golfvoorstelling zeer geloofwaardig is. Bij elektromagnetische golven, zoals licht, onderbouwt bovendien een indrukwekkend geheel van theorievorming en experiment de opvatting dat het hier gaat om een reële trilling in reële elektrische en magnetische velden. Bij 'materiegolven' ligt dit moeilijker. Niemand heeft nog kunnen aantonen wat het is, dat er in dat geval zou trillen. Anderzijds heeft het aannemen van hun reële bestaan zowel de scheikunde als de vastestoffen-fysica zeer veel verder gebracht, met als gevolg een zeer groot aantal werkende toepassingen. Tot die toepassingen behoren bijvoorbeeld de halfgeleiders die in talloze vormen van elektronica en computers worden toegepast. Zeilinger stelt daarom dat het niet overdreven is om te beweren dat een groot deel van de economie van de moderne industrielanden op deze materiegolven berust (2005, p. 189).

Waarschijnlijkheidsrekening neemt in de modellen van kwantumsystemen dus een positie in *tussen* onderling complementaire golfmechanica en deeltjesmechanica, die beiden (buiten meet-onnauwkeurigheid) geen toeval in hun berekeningen verdisconteren. De onzekerheidsrelatie van Heisenberg geeft *tussen* beide gebieden aan hoe een marge van toeval op het ene gebied in relatie staat tot een marge van toeval op het complementaire gebied. Het tussengebied wordt met recht *waarschijnlijkheidsrekening* wanneer blijkt dat de variabele Ψ , die in de golfmechanica de rol vervult van een eenduidig bepaalde golf functie, als Ψ^2 in het tussengebied de rol vervult van een eenduidig bepaalde mate van waarschijnlijkheid ('t Hooft, 2014, p. 25; Finkelburg, 1962a, p. 180).

Kwantumtoeval als stochastisch toeval

De rol die Ψ^2 speelt maakt duidelijk dat het toeval in de kwantummechanica niet zó absoluut toevallig is, dat er niet mee te rekenen is. De soort van toeval die men in de kwantummechanica tegenkomt wordt wel aangeduid als stochastisch toeval. Wanneer men dit begrip toepast op toestandsovergangen van kwantumsystemen (denk bijvoorbeeld aan een elektron dat binnen een atoom van een 'aangeslagen toestand' kan terugvallen naar een lagere toestand met minder energie, pagina 412) dan kan men stochastische toestandsovergangen als volgt definiëren (Kirschenmann, 2001b, pp. 53-61):

1. De overgang naar een volgende toestand is meerduidelijk bepaald. Dit kan zowel betekenen dat de overgang naar een volgende toestand op verschillende tijdstippen kan plaatsvinden, alsook dat er verschillende volgende toestanden mogelijk zijn.
2. Maar, de mogelijkheden voor vervolgoestanden zijn wel begrensd. Er is een onderscheid tussen mogelijke en onmogelijke vervolgoestanden.
3. De waarschijnlijkheid van de overgang naar een volgende toestand is niet afhankelijk van de geschiedenis van het systeem; op ieder moment blijft de waarschijnlijkheid van de overgang naar een mogelijke vervolgoestand (binnen een bepaald tijdsinterval) alleen afhankelijk van de huidige toestand (en het gekozen tijdsinterval)¹²⁵.
4. De laatst genoemde afhankelijkheid, en de onder 2 genoemde begrensdheid, vragen om beschrijving / verklaring middels een stochastisch model (stochastische theorie).

De kwantummechanica voorziet in een dergelijk stochastisch model. Uit de golfvergelijkingen van Schrödinger volgt een zeer precies en eenduidig bepaalde *waarschijnlijkheid* van mogelijke 'deeltjes-vervolgoestanden', die inderdaad niet afhankelijk is van de geschiedenis van een systeem, maar alleen van de huidige toestand en een gekozen tijdsinterval¹²⁶. Kortom, het stochastische toeval van de kwantummechanica voldoet wel degelijk aan regels en wetmatig te formuleren bepaaldheden (gevolglijkheden). Met andere woorden: dit stochastische toeval is ook gedetermineerd, ook al is die determinatie verschillend van de klassiek-fysische volledige determinatie. Daarom noemt Kirschenmann deze vorm van determinatie: *stochastische determinatie* (of stochastisch determinisme) (2001b, pp. 53-61).

¹²⁵ Voor een 'aangeslagen elektron' maakt het bijvoorbeeld niet uit of het al langer of korter in een toestand van hogere trillingsenergie zit. De kans om binnen één nanoseconde terug te vallen naar een lagere toestand blijft op ieder moment van zijn 'geschiedenis' gelijk. En, wanneer men bijvoorbeeld bij een stralingsbron die in verschillende richtingen straling uitzendt in één richting een foton als deeltje heeft gedetecteerd (met een Geigerteller), dan verandert dat niet de kans om binnen een bepaalde tijd in diezelfde richting nog eens een foton te detecteren.

¹²⁶ Deze constatering geldt dus niet alleen voor de voorbeelden waarmee de kwantummechanica tot nu toe is geïllustreerd, maar voor de kwantummechanica in het algemeen. Denk bijvoorbeeld aan het uiteenvallen van de instabiele atoomkernen van radio-actieve isotopen. Ook hiervoor gelden alle hier genoemde kenmerken van (dit type van) stochastische processen.

Met betrekking tot het kwantummechanische toeval geldt dus opnieuw een blijvende bepaaldheid en voorspelbaarheid, zoals ik die eerder in verband met 'chaotische systemen' constateerde (pagina 356). Met de uitdrukking *kans-determinisme* gaf ik in dat verband aan dat de toevalsprocessen van 'chaotische systemen' allerm minst willekeurig en onbepaald zijn. De bedoeling van deze uitdrukking is dus nauw verwant aan Kirschenmann's bedoeling met 'stochastische determinatie'.

Daarbij moet echter aangetekend worden dat er ook een essentieel verschil is tussen het toeval dat chaotische systemen kenmerkt, en het toeval bij kwantumsystemen. Een verschil, dat pas goed duidelijk werd toen men beide soorten van toeval kon vergelijken, en het begrip 'ruis' (Bok, 1959) binnen disciplines zoals cybernetica, informatica en signaal-technologie gangbaar werd.

Kwantumtoeval en chaotisch toeval

In het geval van chaotische systemen ging het om samengestelde systemen waarvan de elementaire deelsystemen door volledig deterministische modellen beschreven werden. Het toeval kwam bij deze systemen pas aan de orde op het niveau van het systeem als geheel, omdat volledig gedetermineerde deelsystemen bij bepaalde configuraties konden resulteren in systemen die als geheel in volledig instabiele toestanden konden geraken. Deze systemen konden door 'storingen', die tot oneindig klein konden naderen, uit evenwicht gebracht worden. En, omdat er niet uitgegaan kon worden van absoluut storingsvrije condities, moesten dergelijke systemen wel op een toevallig moment en in een toevallige richting hun evenwicht verliezen (pagina 363).

De werking van deterministisch-chaotische systemen zal ik nu toelichten aan een nieuw voorbeeld. Men kan denken aan de toevals-machines waarmee een willekeurig rijtje van getallen wordt voortgebracht ten behoeve van een loterij. In het voorbeeld van nevenstaande figuur zitten een aantal ballen in een afgesloten ruimte die in alle kenmerken geheel gelijk zijn, behalve in de nummers die erop afgedrukt zijn. De ballen worden door elkaar gehusseld door twee rotoren met metalen armen die tegen elkaar in draaien. Dit systeem is chaotisch omdat minimale variaties in de botsingen tussen rotorarmen en ballen, tussen ballen onderling, en tussen ballen en wanden, versterkt worden tot uitkomsten volgens een uniforme kansverdeling. Op zich is iedere botsing (deelsysteem) volledig gedetermineerd door de wetten van de klassieke mechanica, maar toch is de uitkomst van iedere 'trekking' door de machine (geheel systeem) onvoorspelbaar. Wanneer de machine goed gemaakt is, dan is wél voorspelbaar dat bij een groot aantal trekkingen alle getallen er ongeveer even vaak uit tevoorschijn zullen komen.

Figuur 23



Wanneer men nu vraagt waar die minimale variaties vandaan komen die door de machine versterkt worden tot de variaties in de uitkomsten, dan kan men in antwoord het begrip '*ruis*' gebruiken (Bok, 1959). Met dit begrip wordt dan een structuurloze stroom van storingen aangeduid die volgens het model van de toevals-machine aan de omgeving ervan wordt toegeschreven. Het gebruik van dit begrip '*ruis*' impliceert de aanname dat een systeem, naast zijn interne dynamiek en naast de berekenbare invloeden vanuit de omgeving, ook onder invloed staat van kleine, nooit geheel te elimineren structuurloze omgevingsvariaties. In het geval van onze toevals-machine kan men in concreto denken aan fluctuaties in het omgevende gravitatieveld, aan akoestische ruis, aan thermische ruis, of aan ruis in de elektrische spanning die de elektromotoren van de rotoren aandrijft. Bovendien kan de meetnauwkeurigheid waarmee de motoren, de ballen, de rotorarmen en andere onderdelen gefabriceerd zijn niet volmaakt geweest zijn, en kan er dus ook in de fabricage een vorm van ruis van invloed zijn geweest. Machines die eenduidig voorspelbaar moeten werken worden zó geconstrueerd dat al dergelijke vormen van ruis door demping of filtering onschadelijk gemaakt worden. De constructie van een toevals-machine is er daarentegen juist op ingericht om ruis zodanig te versterken dat individuele uitkomsten volgens een gewenste kansverdeling volstrekt toevallig zijn¹²⁷.

Zoals er machines zijn die er bewust op ingericht zijn om ruis te elimineren én machines die erop ingericht zijn om ruis te versterken, zo zijn er ook natuurlijke systemen die 'vanzelf' ruis elimineren¹²⁸ én natuurlijke systemen die 'vanzelf' ruis versterken. Deze laatste categorie vertoont onvoorspelbaar gedrag en heeft daarom de naam 'chaotisch' gekregen.

¹²⁷ Er bestaan ook computerprogramma's die getallen produceren volgens een uniforme kansverdeling. Wanneer men de productie van ieder getal werkelijk onvoorspelbaar wil maken dan moeten ook deze programma's één of andere vorm van ruis als bron gebruiken. Een veel gebruikt programma gebruikt atmosferische ruis als bron (zie www.random.org).

¹²⁸ Men kan denken aan het eerder behandelde voorbeeld van demping in het zonnestelsel (pagina 341).

Conclusie: afgezien van 'gevoelige afhankelijkheid' en 'non-lineariteit' moet bij deterministisch-chaotische systemen ook de werking van 'omgevingsruis' aangenomen worden om het toeval in de werking van het systeem als geheel te verklaren.

Een cruciaal verschil tussen 'chaotisch toeval' en 'kwantumtoeval' is nu, dat het toeval van kwantumsystemen niet berust op gevoelige afhankelijkheid, maar juist *on gevoelige onafhankelijkheid* manifesteert. Kwantumsystemen zijn niet gevoelig voor externe ruis of storingen, maar genereren zelf met grote onafhankelijkheid en precisie hun eigen ruis. Een bekend voorbeeld daarvan bieden de instabiele atoomkernen van radio-actieve isotopen. De kans waarmee instabiele atoomkernen in een bepaald tijdsinterval uiteenvallen is zeer constant en zeer ongevoelig voor omgevingsinvloeden¹²⁹.

Terwijl er ruis kan sluipen in kenmerken van macroscopische mechanismen of machines door toevalsprocessen bij hun ontstaan of fabricage, is dit bij kwantummechanische systemen uitgesloten. Atomen, en de elementaire deeltjes waaruit zij zijn opgebouwd, vertonen in geen enkel opzicht afwijkingen of toevallige variaties in hun kenmerken. Alle zilveratomen, alle elektronen, alle neutronen, alle protonen, en zo voorts, zijn (volgens alle bekende metingen) volmaakt aan elkaar gelijk. Ook de meest extreem nauwkeurige metingen die tegenwoordig mogelijk zijn kunnen geen variaties ontdekken in de kenmerken van kwantumsystemen. Zij geven de indruk van volmaakt uitwisselbare gelijkheid en absolute ongevoeligheid voor veroudering. Individualiteit en (historische) uniciteit lijken op dit microniveau niet te bestaan. De toevalsprocessen die deze systemen kenmerken maken daarop geen uitzondering. Voor alle deeltjes van een bepaalde categorie zijn ook de toevalskenmerken volmaakt gelijk en volmaakt onafhankelijk van hun geschiedenis (Kirschenmann, 2001b). Zij zijn totaal ongevoelig voor externe ruis, maar genereren zelf een bijzonder precies bepaalde vorm van ruis¹³⁰.

Conclusie: Chaotische systemen zijn opgebouwd uit elementaire deelsystemen die, volgens de modellen van de klassieke mechanica, volledig gedetermineerd zijn. Daarom moet het toeval dat deze systemen kenmerkt toegeschreven worden aan instabiliteit van het systeem als geheel en aan omgevingsruis. Daarentegen is bij kwantumsystemen ruis, of stochastisch toeval, volgens de modellen van de kwantummechanica, een kenmerk van (interacties tussen) de meest elementaire deelsystemen *zelf*.

¹²⁹ Op deze zeer onafhankelijke en constante instabiliteit is de nauwkeurige radiometrische datering gebaseerd (zoals de bekende C14-methode), die sinds de tweede helft van de 20^e eeuw op ruime schaal wordt toegepast (Albritton & Windley, 2014).

¹³⁰ Om die reden berusten computerprogramma's, die een vorm van toeval moeten produceren dat aan de hoogste eisen voldoet, op kwantumtoeval, zoals het uiteenvallen van een radioactieve bron. Door zich extern te 'voeden' met deze ideale vorm van ruis kan een dergelijk programma aan de hoogste eisen van 'toevals-eerlijkheid' voldoen (Haahr, 2014).

2.c Problematische objectiviteit

Zoals ik hiervoor beschreef vertegenwoordigden 'zuiver objectieve observatie' en 'zuiver objectieve kennis' oude ambities van de fysica (hoofdstuk 12, § 2). In eerste instantie werd deze ambitie onderbouwd door de aanname dat de fysieke natuur beschouwd kon worden als een verzameling van objecten, die in principe vanuit een 'buitenstandpunt' volledig geobserveerd en gekend konden worden (hoofdstuk 12, § 3.b).

Dit 'kennen' werd vervolgens gerelativeerd door de noodzaak om de rol van toeval te accepteren. Soms staat de natuur ons niet meer kennis toe dan de kennis van waarschijnlijkheden (hoofdstuk 12, § 5).

De relativiteitstheorie haalde een streep door de aanname dat we de natuur vanuit een 'buitenstandpunt' kunnen observeren. We kunnen de natuur alleen vanuit een standpunt binnen de natuur observeren, en bovendien kunnen we alleen gebeurtenissen causaal verklaren die in één ruimtetijd-geschiedenis te verenigen zijn. Desondanks bleef Russell het concept van standpunt-onafhankelijke objectiviteit verdedigen, maar hij zag dit concept alleen gerealiseerd in de abstracte sfeer van formele mathematische structuren (§ 1.e / *Abstracte objectiviteit*).

Naast, en ongeveer gelijktijdig met de relativiteitstheorie, riep ook de ontwikkeling van de kwantummechanica discussies op over de vraag of de oude ambities van 'zuivere observatie' en 'zuiver objectieve kennis' nog wel haalbaar waren. Om te beginnen zal ik nu een schets bieden van de aanleidingen tot deze discussies.

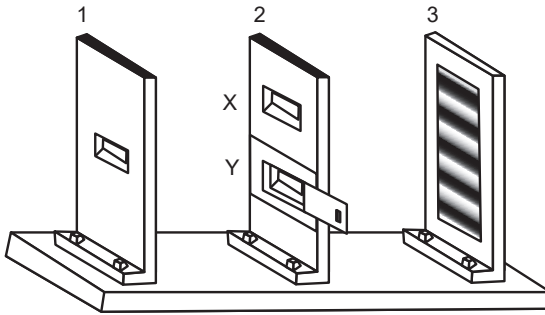
Het waren vooral experimenten waarmee men essentiële kenmerken van individuele kwantumsystemen probeerde te achterhalen, die aanleiding gaven tot de discussies over objectiviteit. Het verhaal van één van die experimenten¹³¹ begint bij de al eerder genoemde ontdekking van de interferentie van licht door Young in 1802 (zie pagina 408). De opstelling die Young gebruikte is schematisch weergegeven in figuur 24¹³².

- 1 is een scherm waarin een dunne spleet is aangebracht waarop vanaf de linkerkant licht valt. Deze spleet fungeert zodoende als een dunne lijnvormige lichtbron.
- 2 is een scherm waarin twee spleten x en y zijn aangebracht. Spleet y kan ook dicht geschoven worden.
- 3 is een zwart scherm waarop het licht valt dat door één of beide spleten van 2 dit scherm bereikt.

¹³¹ Dit verhaal vertel ik hier in hoofdzaak aan de hand van Zeilinger (2005, pp. 32-48).

¹³² Zie (Zeilinger, 2005, p. 33).

Figuur 24



Young observeerde eerst het beeld dat op 3 verscheen wanneer y gesloten was en het licht alleen via x scherm 3 kon bereiken. Dit leverde een lichte streep op aan de bovenkant van 3, niet even scherp als de spleet maar met een geleidelijk verloop naar zwart. Daarna opende Young spleet y. Als gevolg daarvan kreeg hij op 3, tot veler verrassing, niet een tweede streep erbij die gelijk was aan de eerste streep, maar een hele serie lichte strepen afgewisseld door donkere gebieden. De verklaring van dit fenomeen is: de spleten x en y fungeren elk opnieuw als lijnvormige lichtbronnen, maar omdat zij beiden hun licht danken aan één en dezelfde bron, de spleet in 1, zijn x en y lichtbronnen die volkomen gelijk trillen (coherente lichtbronnen). Op een bepaald gebied van 3 is het verschil in afstand naar x en naar y een halve golflengte van het licht, en dan is de trilling die uit x komt steeds in een fase die tegengesteld is aan het licht dat daar vanuit y aankomt, en daarom doven die twee trillingen elkaar daar voortdurend uit en blijft het scherm zwart. Op andere gebieden van 3 komen de trillingen in een gelijke fase aan, en daar versterken zij elkaar. Op die gebieden krijgen we dus de witte strepen te zien. Dit uitdoven en versterken van trillingen uit coherente trillingsbronnen heet *interferentie*¹³³. Zoals ik op pagina 408 al vermeldde, betekende het optreden van deze interferentie voor Youngs tijdgenoten het onweerlegbare bewijs van de stelling dat men licht moest opvatten als een trillingsverschijnsel.

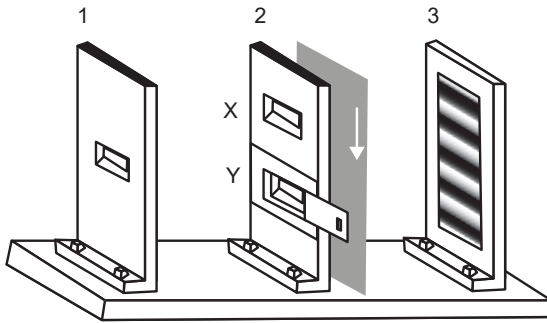
Maar, nu we weten dat licht uit discrete lichtkwanten of fotonen bestaat, kunnen we ons afvragen of er nog wel interferentie zal optreden wanneer de sterkte van het licht zodanig verzwakt is dat er steeds maar één foton tegelijk op 3 aankomt. Twee fotonen kunnen elkaar dan niet uitdoven of versterken omdat zij niet tegelijk op 3 aankomen. Een dergelijk experiment is ondanks de zeer zwakke lichtintensiteit toch uit te voeren wanneer men scherm 3 door een fotografische plaat vervangt en de hele opstelling in een donkere kamer langdurig laat functioneren. Dit experiment werd in 1909 door Taylor uitgevoerd. De verrassende uitkomst was, dat men ook onder deze condities op 3 precies hetzelfde interferentie-patroon zag verschijnen dat ruim een eeuw eerder door

¹³³ Als synoniem voor interferentie wordt in literatuur over golfmechanica of kwantummechanica ook het begrip *superpositie* gebruikt. Zie bijvoorbeeld (van der Leeden, 1958).

Young was verkregen. Hoe kon men dit verklaren? De enige verklaring die dit verschijnsel begrijpelijk maakt is, dat ieder elementair lichtkwant (of golfpakketje) gedeeltelijk door spleet x en gedeeltelijk door spleet y is gegaan! Dan kan het ene deel van het golfpakketje het andere deel op scherm 3 hebben uitgedoofd of versterkt.

Dit vermoeden kan getoetst worden met een iets gewijzigd experiment (figuur 25). Een stukje achter 2 laat men een vlakvormige elektronenstraal (een 'elektronenscherm') dwars op de spleten x en y van boven naar beneden gaan. De lichtkwanten kunnen nu op de elektronen botsen en die afbuigen. Wanneer men de afbuiging van die elektronen precies observeert kan men daaruit afleiden waar het botsende lichtkwant vandaan gekomen is. Wanneer men echter op deze manier de lichtkwanten als deeltjes (fotonen) detecteert, dan blijkt dat zij elk in hun geheel óf door spleet x óf door spleet y gekomen zijn, en in geen geval een beetje door x en een beetje door y! En bovendien verdwijnt het interferentie-strepenpatroon op scherm 3.

Figuur 25



De twee varianten van het experiment van Taylor illustreren nu opnieuw het principe dat complementaire inrichtingen van de observatie complementaire kenmerken van kwantsystemen observeerbaar maken (zie de samenvatting op pagina 415). De eerste variant was erop ingericht om golfkenmerken te observeren, en die kregen we dan ook te zien. De lichtkwanten gingen daarbij wegen die deeltjes nooit zouden kunnen gaan, en vertoonden gedrag (zichzelf uitdoven en versterken) dat deeltjes niet kunnen vertonen. De tweede variant was erop ingericht om de vraag te beantwoorden langs welke weg deeltjes gegaan waren, en ook op die vraag kregen we een duidelijk antwoord. Dit antwoord was echter lijnrecht in strijd met het eerdere antwoord op de vraag langs welke weg het golfpakketje gegaan was! Bovendien was er toen ook op scherm 3 van 'golfgedrag' niets meer te merken.

De vraag naar objectiviteit wordt nu erg problematisch. Gaan de fotonen (of lichtkwanten), los van de vraag of wij hen observeren of niet, nu objectief een beetje door x en een beetje door y, of gaan ze objectief hetzij door x hetzij door y? Of, kán deze vraag helemaal niet beantwoord worden los van de vraag of (en hoe) wij hen observeren of

niet? En, als er geen onafhankelijk van de observatie te geven antwoord is, kan dan de vraag naar wat er objectief gebeurt überhaupt nog wel beantwoord worden?

Deze en dergelijke experimenten riepen de intensieve discussies over objectiviteit en realiteit op, die ik hiervoor al noemde in verband met de bolgolf en de detector (pagina 418 e.v.). Ook de tweede variant op Taylors experiment kan in termen van Ψ en Ψ^2 geproblematiseerd worden. Ook daar lijkt de met ieder lichtkwant geassocieerde golf op slag te verdwijnen wanneer er interactie plaats vindt met een elektron uit het elektroenscherm, welke interactie dan ineens het karakter van een botsing tussen ideaalharde biljartballen blijkt te vertonen. Hoe het mogelijk is, dat wij door het installeren van een elektroenscherm ineens de metamorfose mee moeten maken van ruimtelijk verdeelde golfpakketten naar precies gelokaliseerd deeltjes, blijft een vraag die ons met fundamentele moeilijkheden confronteert.

2.d Kopenhaagse interpretatie

Het onderzoek aan kwantumsystemen resulteerde in raadselachtige en paradoxale uitkomsten. De hierboven genoemde voorbeelden kunnen nog door vele andere voorbeelden aangevuld worden. De fysische gemeenschap moest er wel iets mee, omdat die raadselachtige uitkomsten niet in te passen waren in het bestaande beeld dat fysici van 'hun' natuur hadden. En na de ervaringen met de relativiteitstheorie lag het voor de hand om te vermoeden, dat ook de raadsels en paradoxen van de kwantumfysica evenzovele aanwijzingen vormden voor de noodzaak om opnieuw oude en vanzelfsprekend geachte aannames te herzien.

Deze situatie leidde tot intensieve discussies en polemieken in de fysische gemeenschap, die voor een deel tot op de dag van vandaag nog gevoerd worden¹³⁴. In het kader van mijn studie lijkt het mij niet nodig om de verschillende standpunten hier te bespreken. Ik zal mij nu beperken tot de stroming die bekend staat als 'de Kopenhaagse interpretatie'¹³⁵. In de hierna volgende sub-paragraaf 2.e zal blijken hoe Sizoo liet zien dat deze interpretatie goed verenigbaar is met het vermijden van reductionisme en dualisme, dat in hoofdstuk 3 (§ 3.a) als methodisch uitgangspunt geïntroduceerd werd.

¹³⁴ Zie bijvoorbeeld Zeilinger (2005, pp. 142-157) voor een weergave van deze discussies en polemieken. En zie 't Hooft (2014, pp. 30-31) als voorbeeld van een hedendaagse fysicus die de Kopenhaagse interpretatie slechts als een voorlopige oplossing ziet die waarschijnlijk (en hopelijk) overbodig zal worden wanneer *een volledige theorie van alle krachten* ontdekt wordt.

¹³⁵ Zo genoemd omdat de Kopenhaagse fysicus Niels Bohr één van haar eerste en belangrijkste woordvoerders was. Bij deze interpretatie moet bovendien aangetekend worden dat 'de Kopenhaagse interpretatie' eigenlijk niet bestaat. Zelfs Niels Bohr veranderde gedurende zijn leven verschillende malen zijn eigen variant van deze interpretatie (Zeilinger, 2005, p. 157).

Daarom volg ik de Kopenhaagse interpretatie als gids bij mijn verdere verkenning, en als leidraad voor de verdere constructie van mijn conceptuele bouwwerk.

Objectiviteit opgegeven

De vertegenwoordigers van de Kopenhaagse interpretatie erkennen om te beginnen volmondig dat de raadselachtige uitkomsten, waarvan ik enkele voorbeelden beschreef, erop wijzen *dat de oude ambitie van de fysica, om zuiver objectieve kennis te verwerven, op het microniveau van kwantumsystemen onhoudbaar is*. Deze ambitie berustte, zoals ik eerder beschreef¹³⁶, op de oude aanname dat de observatie-methoden en het mathematische denken van fysici zodanig goed 'sporen' met de ware aard van de natuur, dat objectiviteit in principe altijd haalbaar is. Van de erkenning van de onhoudbaarheid van deze oude ambitie getuigen uitspraken zoals: "*Es ist damit die dem Weltbild der klassischen Physik selbstverständliche Objektivierbarkeit im Weltbild der Mikrophysik verlorengegangen ...*" en "*Über Atome an sich' lassen sich keine Aussagen machen*" (Finkelburg, 1962b, p. 220). En Zeilinger (2005, p. 49) zet boven één van zijn hoofdstukken, vanwege deze zelfde erkenning, het bekende motto van Wittgenstein: "*Wovon man nicht sprechen kann, darüber muß man schweigen*"¹³⁷.

Maar, ook de relativiteitstheorie leidde al tot raadselachtige consequenties. Desondanks concludeerde Russell nog dat deze theorie betrekking heeft op een 'objectief residu' van abstracte aard, "waarover alle observatoren het eens zijn" (pagina 398). *Noodzaken de resultaten van de kwantummechanica nu om een stap verder te gaan en ook de aanname van een abstract 'objectief residu' op te geven?*

Om op deze vraag een antwoord te kunnen geven moet ik eerst de vraag beantwoorden, *waarom de fysici die de Kopenhaagse interpretatie volgen zich gedwongen zien om 'im Weltbild der Mikrophysik' het concept van objectiviteit op te geven*. In antwoord op deze laatste vraag kunnen twee redenen genoemd worden:

1. In de fysica is het nooit een probleem geweest dat verschillende inrichtingen van experiment en van observaties konden leiden tot kennis van verschillende aspecten van een natuurlijk systeem. Maar, het was daarbij altijd een belangrijk criterium dat de kennis van deze verschillende aspecten tot één logisch geheel geïntegreerd konden worden, "waarover alle observatoren het eens zijn".

Dit laatste criterium verdraagt zich niet met de complementaire uitkomsten van complementaire observaties in de kwantumfysica. De twee variaties op Taylors experiment geven daarvan een duidelijk voorbeeld. De ene variant resulteert in de observatie dat het lichtkwant zowel via weg x als via weg y gaat, en de andere variant resulteert in de observatie dat het lichtkwant via weg x óf via weg y gaat. Dat zijn observaties die niet tegelijk waar kunnen zijn, en waarover observatoren het dus

¹³⁶ Zie met name mijn bespreking van de opvattingen van Galileï, Descartes en Newton (hoofdstuk 12, §§ 2 & 3, pagina 348-353).

¹³⁷ Dit is de slotzin van Wittgensteins *Tractatus logico-philosophicus* (1964, p. 115).

niet eens kunnen worden. Het probleem met objectiviteit, dat dergelijke uitkomsten opleveren, kan ook toegelicht worden met de brilmetafoor: wanneer men op een camera een zoomobjectief heeft met instelmogelijkheden voor veraf en dichtbij, dan is het niet vreemd dat men bij ene instelling iets scherp kan zien dat bij de andere instelling onscherp is, en omgekeerd. De opbrengsten van beide instellingen zijn immers goed te verenigen tot het concept van één objectieve werkelijkheid. Maar, wanneer men, zoals bij de kwantumfysica het geval is, bij de ene instelling iets observeert dat lijnrecht in strijd is met wat men bij de andere instelling observeert, dan zijn die observaties *niet* verenigbaar tot het concept van één objectieve werkelijkheid.

2. De tweede, met de eerste samenhangende, reden is dat de *aard* van het object van observatie lijkt af te hangen van een voorafgaande subjectieve *keuze* aan de kant van de observator (Finkelburg, 1962b, p. 220). Wanneer de observator ervoor kiest om golfkenmerken te observeren, en zijn experiment dienovereenkomstig inricht, dan krijgt hij ook keurig een kwantumobject met golfkenmerken aangeleverd; maar doet hij de andere keuze, dan krijgt hij even keurig een kwantumobject met deeltjeskenmerken aangeleverd. Deze ervaring is in strijd met een ander criterium voor objectiviteit, dat Russell ook noemde, namelijk, dat men van een objectief object moet kunnen aannemen dat het gezuiverd is van "bijdragen die van observatoren afkomstig zijn" (pagina 398).

Kwantumobjecten kunnen kennelijk niet aan dit laatste criterium voldoen. Aan een kwantumobject blijft altijd de subjectieve keuze te herkennen die de experimentator aan het verschijnen van dit object heeft bijgedragen. De ambitie, om te weten wat het 'objectieve residu' van een kwantumobject is, wanneer wij het wél van alle subjectieve bijdragen zouden kunnen zuiveren, lijkt voor deze objecten onhaalbaar te zijn.

Het opgeven van de objectiviteit van de kwantum-wereld noodzaakte, na de revolutie van de relativiteitstheorie, opnieuw tot een fundamentele herziening van het traditionele natuurbeeld van de fysica. Tot op dat moment konden op ieder deelgebied van de fysica de ambitie en de pretentie van objectieve kennisvorming nog volgehouden worden. De kwantummechanica bleek nu een deelgebied te bestrijken waarvoor fysici moesten toegeven dat systemen die daar in naam voorwerp van onderzoek zijn (elektronen, neutronen, fotonen, protonen, atomen, et cetera) niet objectief kenbaar zijn. Kort gezegd: *kwantumfysici weten niet wat zij op microniveau eigenlijk onderzoeken.*

Hoe een concept van objectiviteit toch gered kon worden voor de kwantummechanica is het onderwerp van de volgende sub-paragraaf.

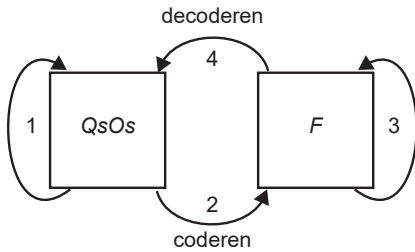
Objectiviteit gehandhaafd

Een belangrijk aspect, dat alle varianten van de Kopenhaagse interpretatie kenmerkt, is de constatering, dat het objectiviteitsprobleem beperkt is tot het microniveau van de kwantumfenomenen, en geen afbreuk doet aan de ambities en pretenties van objectivi-

teit op macroniveau. De instrumenten waarmee fysici hun experimenten uitvoeren zijn macro-fysische objecten, en ook hun concrete observaties van de output van die instrumenten spelen zich af op het macroniveau van direct zintuiglijk observeerbare fysische realiteit. Het was een cruciaal element van Bohrs visie dat de macroscopische apparaten, waarmee een fysicus feitelijk opereert, in het centrum van de redenering thuishoren wanneer men tot een goede interpretatie van de kwantumfysica wil komen (Zeilinger, 2005, p. 171). Om dit te benadrukken voorzag Bohr zijn redeneringen graag van tekeningen waarin hij bijvoorbeeld met opzet ook schroefjes tekende die de apparaten bij elkaar hielden. De door mij gebruikte figuren bij de experimenten van Young en Taylor (pagina's 425 en 426) zijn daar een voorbeeld van¹³⁸.

Om de gehandhaafde objectiviteit op macroniveau nu toe te lichten op een wijze die in mijn betoog past, zal ik daarbij opnieuw het modelconcept van Rosen gebruiken.

Figuur 26



- Neem nu eens aan dat de originele systemen, waarvan de kwantummechanica modellen ontwikkelt, niet de kwantumsystemen zijn, maar de macro-fysische *kwantumsystemen observerende systemen (QsOs)*, zoals de experiment-opstellingen van Young en Taylor, die ik op de pagina's 425 en 426 beschreef.
- En, vat de taal waarmee de wiskunde F van de kwantummechanica gepaard gaat, nu eens niet letterlijk op maar zuiver formeel-operationeel. Termen zoals 'deeltje', 'golf', 'elektron' of 'foton' kunnen op dezelfde manier opgevat worden als de termen 'paard', 'koning', 'loper' of 'pion' bij het schaken, namelijk niet als verwijzing naar een object buiten het spel, maar als verwijzing naar de spelinterne regels waaraan een bepaald formeel object moet voldoen.
- Neem nu als voorbeeld van een *QsOs* de tweede variant van het experiment van Taylor, dat op pagina 426 e.v. beschreven werd. De experimentator kan de intensiteit van het elektronenscherm variëren van 0 tot zeer sterk. Deze variaties kan hij coderen naar variabelen van F en dan zal de wiskunde van het model hem voorspellingen opleveren van macro-fysische observaties die hij kan controleren. Het model zal voorspellen dat hij bij intensiteit 0 een bepaald strepenpatroon op scherm 3 zal

¹³⁸ Deze figuren zijn via Zeilinger (2005, p. 171) aan publicaties van Bohr ontleend.

zien. Wanneer de experimentator vervolgens stap voor stap de intensiteit van het elektronenscherm opvoert dan zal het model voorspellen in welke mate het strepenpatroon op scherm 3 stap voor stap zal vervagen. Het model zal ook bij iedere stap voorspellen met welke kans (per tijdseenheid) de elektronen-detectors bij het scherm afgebogen 'elektronen' zullen detecteren, waarbij een computerprogramma de gegevens van deze 'elektronen' omrekent naar correlerende 'fotonen', die volgens een bepaalde kansverdeling weer correleren met spleet x of met spleet y .

Kortom: de variatie van de intensiteit van het elektronenscherm (die de overgang van de ene naar de andere complementaire observatievorm bepaalt) fungeert nu in principe niet anders dan de variaties die bijvoorbeeld Galileï koos wanneer hij voorwerpen van verschillende hoogtes liet vallen.

- Conclusie: wanneer we, zoals Bohr voorstelt, het macro-fysische systeem $QsOs$ in het centrum van de redenering stellen, dan is er qua modelvorming en objectiviteit geen principieel probleem. Of, zoals 't Hooft de huidige situatie van de kwantummechanica samenvat "*De uitkomst van in principe ieder experiment kan door middel van onze huidige kennis van de natuurwetten worden voorspeld*" (2014, p. 30).

Ik kan nu terugkeren naar de eerste vraag van pagina 428. Uit het antwoord op de tweede vraag is duidelijk geworden waarom het concept van objectiviteit op het micro-niveau van kwantumsystemen opgegeven moest worden. Maar, de bovenstaande reflectie op het concept van objectiviteit, op het macroniveau van kwantumsystemen observerende systemen ($QsOs$), maakt duidelijk dat op dit macroniveau een concept van objectiviteit zonder probleem gehandhaafd kan worden. Maar, daartoe moet dit concept wel veel formeler en abstracter opgevat worden dan in de klassieke fysica gebruikelijk is. Met andere woorden: we komen op het gebied van de kwantumfysica nu uit bij een concept van abstracte objectiviteit dat in sterke mate overeenkomt met het concept van een abstract 'objectief residu' dat Russell formuleerde in verband met de relativiteitstheorie (pagina 398 e.v.). Het antwoord op de eerste vraag moet dus luiden: *de resultaten van de kwantummechanica leiden opnieuw tot het concept van een 'objectief residu', in de vorm van een abstract mathematisch spel dat fungeert als model van een kwantum-fysisch experiment.*

De visie van Russell op relativiteitstheorie en de Kopenhaagse interpretatie van kwantummechanica komen dus op een cruciaal aspect overeen. Dergelijke overeenkomsten zijn niet verwonderlijk, omdat het in veel gevallen dezelfde fysici waren, en nog steeds zijn, die zich voor de opgave gesteld zagen om betekenis te geven aan beide deelgebieden van hun vak. Het is begrijpelijk dat zij dan voor de betekenisverlening op beide gebieden een overeenkomstige benadering hanteren. Die benadering brengt dan bovendien overeenkomsten en verschillen tussen beide gebieden aan het licht, die over en weer verhelderend zijn. Daarom zal ik bij de twee voorbeelden van interpretaties uit de Kopenhaagse school, die ik hierna wil noemen, in beide gevallen ook een vergelijking met interpretaties van de relativiteitstheorie betrekken.

Finkelburg

Het eerste voorbeeld betreft de interpretatie van de verwarrende onvoorstelbaarheid van de concepten van de kwantummechanica. De interpretatie die onder andere door Finkelburg vertegenwoordigd wordt, verklaart deze onvoorstelbaarheid uit het gegeven dat de fysica in deze discipline een gebied betreedt dat, vanwege de extreme microschaal, ontoegankelijk is voor het directe waarnemingsvermogen van mensen. Men kan kwantumobjecten alleen maar indirect observeren, dankzij de bemiddeling van geavanceerde instrumenten. En, omdat mensen nu eenmaal hun voorstellingsvermogen en begrippen in eerste instantie baseren op ervaringen met de wél direct zintuiglijk waarneembare werkelijkheid, is het aannemelijk dat dit voorstellingsvermogen en deze begrippen niet adequaat blijken op kwantumniveau (1962b, pp. 222-223)¹³⁹.

De verklaring van de onvoorstelbaarheid van de concepten van de relativiteitstheorie zoekt Finkelburg in precies dezelfde richting. Ook op het gebied van de relativiteitstheorie heeft men zeer geavanceerde instrumenten nodig om bijvoorbeeld snelheden te meten die in de buurt van de lichtsnelheid komen, of om processen te observeren die zich op miljoenen lichtjaren afstand bevinden, of om de effecten te meten die erop wijzen dat de euklidische meetkunde niet opgaat, et cetera (1962b, pp. 222-223). Deze verklaring komt geheel overeen met de interpretatie van Russell, die hiervoor op pagina 399 werd weergegeven.

Vertegenwoordigers van deze interpretatie vinden het daarom in beide gevallen begrijpelijk dat de theorie (waarover alle observatoren het op den duur eens geworden zijn) een onaanschouwelijk abstract karakter kreeg. De relativiteitstheorie zag zich genoodzaakt om een mathematica te hanteren van 4-dimensionale gekromde ruimtes, die niet met normale zintuigen waarneembaar zijn. De kwantummechanica zag zich genoodzaakt om rond complementariteit een formeel spel te ontwikkelen dat bewerkstelligt dat men zich bij 'deeltje' of 'golf' niets concreets meer voor kan stellen.

De metafoor van Russell, over het slechts kunnen lezen van het abstracte notenschrift en het onvermogen om de echte muziek te horen (pagina 399), gaat volgens deze interpretatie dus ook op voor de kwantummechanica. Wij begrijpen slechts de formele structuren van de mathematische modellen, en wij beschikken niet over zintuigen die ons in staat kunnen stellen om de echte muziek te horen die op kwantumniveau gespeeld wordt.

Wigner

Een tweede uitdaging vormt de interpretatie van de al eerder genoemde wonderlijke effectiviteit van wiskunde (pagina 406 e.v.). Daarmee wordt de effectiviteit bedoeld die de keerzijde is van de ervaring, die hierboven genoemd werd. Op gebieden, waar onze

¹³⁹ Deze interpretatie vindt men bijvoorbeeld ook bij Zeilinger (2005, p. 158), die daarbij constateert dat zelfs het basisprincipe van 'objectpermanentie', dat cruciaal is voor ons normale realiteitsbesef, in de kwantumwereld niet opgaat.

zintuigen en ons voorstellingsvermogen ons in de steek laten, blijken abstracte wiskundige vondsten een adequate taal te bieden, die in staat stelt om onvoorstelbare verschijnselen ordelijk te beschrijven in modellen die verrassend goed overeenstemmen met observaties.

Een voorbeeld daarvan, op het gebied van de relativiteitstheorie, is in het voorafgaande al enkele keren genoemd. Toen Einstein de speciale relativiteitstheorie wilde generaliseren tot algemene relativiteitstheorie bleek een eerder ontwikkelde variant van niet-euklidische meetkunde precies de structuur te bieden die hij zocht (zie deel II, hoofdstuk 5, § 1; huidig hoofdstuk, § 1.d, p. 393). Dergelijke vondsten maakten het bereiken van de 'abstracte objectiviteit' van de relativiteitstheorie mogelijk.

Eugene Wigner¹⁴⁰ voert in een befaamd artikel (1960) vooral voorbeelden aan uit de hoek van de kwantummechanica. Hij noemt onder andere de complexe Hilbert-ruimte, die een dermate adequate weergave bleek te bieden van kwantummechanische wetten, dat fysici zich daarna niet meer konden voorstellen dat bij een andere samenloop van ontwikkelingen een andere wiskunde die rol misschien ook zou hebben kunnen vervullen (1960, p. 6). Tenslotte noemt hij het in die tijd recente voorbeeld van de toepassing van matrix-mathematica. Uit een op deze wiskunde gebaseerd model van het Helium-atoom kon men het laagste energieniveau van dit atoom voorspellen. Deze voorspelling bleek met experimentele uitkomsten te corresponderen met een nauwkeurigheid van één op de tien miljoen (1960, p. 8).

Dergelijke voorbeelden laten zien dat fysici met behulp van het 'geestesoog' van de wiskunde ook gebieden in kaart kunnen brengen waar zintuiglijke vermogens en daaraan ontleende begrippen hen in de steek laten. De oude Grieken zouden deze ervaringen hebben opgevat als bevestiging van hun overtuiging dat wiskundige vormen eeuwige essenties van de vergankelijke natuur vertegenwoordigen. Van die opvatting blijkt Wigners benadering echter sterk te verschillen. Hij relateert juist de kennis die het tweespan van fysica en wiskunde kan ontwikkelen. Hij stelt dat dit tweespan het moet hebben van die uitzonderlijke samenhangen in de natuur ("invarianties", zie ook pagina 334) waarbij een klein aantal relevante condities een bepaald proces geheel bepalen. Zoals in het geval van een vrij vallend systeem¹⁴¹ alleen de omgevings-versnelling en de valhoogte, als relevante condities, bepalen hoeveel tijd de val van een voorwerp in beslag neemt. Alle andere condities (grootte, gewicht, materiaal, ...) zijn irrelevant. Daardoor is de toepassing van mathematische fysica beperkt tot die uitzonderlijke omstandigheden waarbij de relevante kenmerken van de huidige toestand zowel eindig in aantal, als ook bekend zijn. Omdat die omstandigheden uitzonderlijk zijn vertegenwoordigt de huidige fysische kennis van de dode natuur, volgens Wigner, slechts een klein deel van de kennis die we van die natuur (kunnen) hebben (1960, pp. 3-5). Maar, anderzijds

¹⁴⁰ Wigner was een vooraanstaand kwantumfysicus die voor zijn bijdrage aan dit vakgebied in 1963 een Nobelprijs ontving.

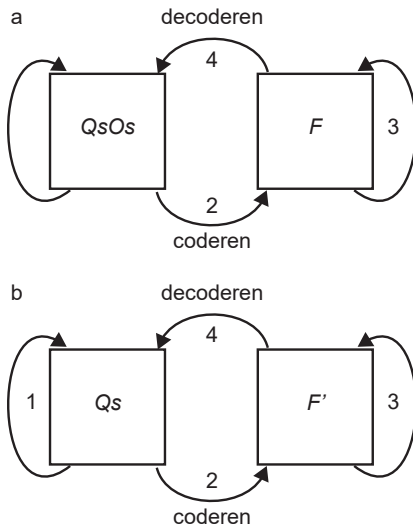
¹⁴¹ Dit voorbeeld werd eerder in dit hoofdstuk besproken op pagina 325 e.v.

blijft de geschiktheid van de taal van de wiskunde voor het formuleren van de wetten van de fysica, op de beperkte gebieden van hun toepasbaarheid, voor Wigner "*a wonderful gift which we neither understand nor deserve*" (1960, p. 11). Hiermee komt hij op zijn manier dicht in de buurt van de al eerder geciteerde conclusie van Russell "*that we know very little, and yet it is astonishing that we know so much, and still more astonishing that so little knowledge can give us so much power*" (pagina 407).

Verbeterde onwetendheid

Op pagina 429 werd de conclusie bereikt, *dat kwantumfysici niet weten wat zij op micro-niveau eigenlijk onderzoeken*. Dit ondubbelzinnige statement van onwetendheid neem ik nu als aanleiding om opnieuw de vraag te stellen die aan het einde van de behandeling van de relativiteitstheorie ook gesteld werd (pagina 403): *moet de nieuwe taal, die de calculi van de kwantumfysica begeleidt, gezien worden als een nieuwe aankleding met onwetendheid die geen haar beter is dan de oude, of kan er ook in dit geval gesproken worden van verbeterde onwetendheid?*

Figuur 27



Om op deze vraag een antwoord te geven begin ik bij de 'wetendheid' van de kwantumfysica. Aan de hand van figuur 27a werd op pagina 430 e.v. toegelicht dat kwantumfysica wel degelijk impliceert, dat objectieve kenmerken van een experiment $QsOs$ in een model F kunnen worden ingevoerd, en dan kunnen leiden tot voorspellingen van observaties die aan de instrumenten van $QsOs$ zullen worden afgelezen, die met hoge mate van nauwkeurigheid met de werkelijkheid overeenkomen.

In het geval van de kwantumfysica is model F een abstract-formeel spel met eenheden die namen hebben zoals 'proton', 'elektron' of 'foton', waarbij die namen (zoals de namen van de stukken in een schaakspel) niet letterlijk moeten worden opgevat, maar

als namen voor spelelementen die binnen het spel welgedefinieerde rollen spelen. Spel F is voor de kwantumfysica het objectieve residu, omdat alle observatoren, die het al eens geworden zijn over de context-onafhankelijke en herhaalbare observaties die experimenten opleveren, het er ook over eens kunnen worden dat spel F uitkomsten oplevert die nauwkeurig corresponderen met experimenten.

De 'onwetendheid' wordt duidelijk wanneer we ons afvragen wat nu precies de aard is van de taal die in F de mathematica omkleedt. Een kwantumfysicus kan bijvoorbeeld zeggen: "*ik heb een hypothetisch model voor het helium-atoom, en ik wil via observaties van dat atoom toetsen of mijn hypothese klopt*". Dan hebben we figuur 27b. Qs is het helium-atoom en F' is het te toetsen hypothetische model van dat atoom. Bij een dergelijke uitspraak moeten wij ons realiseren dat de taal ervan 'speltaal', 'alsof-taal' is! Eigenlijk zou de fysicus moeten zeggen: "*ik wil een experiment $QsOs$ ontwikkelen met behulp waarvan ik kan toetsen of een nieuwe versie van het spelelement 'helium-atoom', die ik in spel F ga inbouwen, tot kloppende resultaten leidt*". De 'observaties' uit de eerste zin zijn 'alsof-observaties' die nog vertaald moeten worden naar echte observaties van input en output van een macro-fysische experiment. Alle elementen van figuur 27b zijn slechts elementen van een abstract spel dat in figuur 27a, binnen F , gespeeld wordt.

Omdat dit spel 'maar' een spel is, is het geen probleem dat in de fictieve spelwereld regels gelden die sterk verschillen van de regels in de 'gewone wereld', zoals: dat de aard van een object verandert als je er anders naar kijkt, dat objecten zomaar in het niets kunnen verdwijnen, dat er tegenstrijdigheden verzoend kunnen worden die in de gewone wereld onverzoenlijk zijn, et cetera. Nu fysici aan de kwantumwereld en haar logica gewend zijn spelen ze er net zo makkelijk mee als moderne kinderen (en volwassenen) met de fantasiewereld van een virtueel 'adventure'.

Is hier sprake van *verbeterde* onwetendheid? Wel degelijk! Het loslaten van de beperkingen van de 'gewone' macro-fysische wereld en haar logica bracht een kostbare bevrijding. De vrijheid van het intellectuele spel opende de toegang tot de nieuwe denkmogelijkheden die ons in staat stelden om steeds meer vat te krijgen op zintuiglijk onwaarneembare achtergronden van onze natuurlijke werkelijkheid. De geslaagde experimenten en de technische toepassingsmogelijkheden bewijzen bovendien dat de kwantum-fysische spelwerkelijkheid wel degelijk een 'realiteitsgehalte' heeft, ook al kunnen we dat realiteitsgehalte niet losprepareren uit de onontwarbare verwevenheid met onze fictie¹⁴².

¹⁴² Squires (2015) geeft op fraaie wijze uitdrukking aan deze verbeterde onwetendheid in de slotzin van zijn uitvoerige Britannica-artikel over kwantummechanica: "*Physicists may not know what they are doing when they make a measurement, but they do it extremely well*".

2.e Sizoo

De opvattingen van Sizoo liggen voor een belangrijk gedeelte in het verlengde van de Kopenhaagse interpretatie. Zijn opvattingen verdienen echter, in het kader van deze studie, aparte aandacht. Vooral omdat Sizoo, gedurende zijn loopbaan als hoogleraar fysica aan de Vrije Universiteit, ook veel werk maakte van zijn reflectie op de verhouding tussen geloof en fysica. Dat werd van het begin af aan ook van hem verwacht, omdat er in de gereformeerde kringen, waarbinnen de VU was opgericht, in de 20er jaren van de vorige eeuw intensieve discussies gevoerd werden over deze verhouding. De moderne natuurwetenschappen werden in die tijd door velen uit de kringen rond de VU als bedreigend voor het christelijke geloof ervaren. Toen de bestuurders van de VU in de 20er jaren het plan opvatten om een wis- en natuurkundige faculteit op te richten, zochten zij dan ook naar een fysicus, die niet alleen voldoende kwaliteit in huis had om in de nieuwe faculteit het fysisch onderzoek en -onderwijs van de grond af aan op te bouwen, maar die ook in staat zou zijn om een aandeel te geven aan de taak, die de VU toen zag, om de discussies over geloof en wetenschap in haar achterban verder te brengen. In Sizoo vonden zij een jonge fysicus die aan deze beide voorwaarden voldeed, en die zich ook dermate aangesproken voelde door deze combinatie van uitdagingen, dat hij zijn twijfels overwon en zijn benoeming per 1 januari 1930 aanvaardde (Flipse, 2005, pp. 21-58).

Sizoo is voor mijn huidige studie van belang omdat hij niet alleen als wetenschapper een vooraanstaande rol speelde in de Nederlandse fysische gemeenschap, maar omdat hij ook op het gebied van de verhouding tussen levensbeschouwing en fysica een interessante bijdrage te bieden had. Een bijdrage die mij in de 60er jaren inspireerde omdat hij zich inzette voor een ondogmatische en kritische uitwisseling, waarbij zowel levensbeschouwing als fysica iets van elkaar konden leren¹⁴³.

Voor de weergave van Sizoo's bijdrage aan de interpretatie van kwantummechanica, relativiteitstheorie, en fysica in het algemeen, zal ik mij hier voornamelijk baseren op een referaat met de titel *Physica en Werkelijkheid* (1940). Sizoo zag in de discussies over de haalbaarheid van klassiek-fysische objectiviteit, die rond de nieuwste takken van fysica werden opgeroepen, aanleiding om in dit referaat de vraag naar subjectiviteit en objectiviteit voor de fysica in zijn algemeenheid aan de orde te stellen.

¹⁴³ Met deze bijdrage van Sizoo heb ik in eerste instantie kennis gemaakt via colleges en gesprekken in de tijd dat hij één van mijn hoogleraren natuurkunde was aan de Vrije Universiteit. Met name het gesprek over *Leistungen, Grenzen und philosophische Bedeutung der Quantummechanik* (Finkelburg, 1962b), tijdens een mondeling tentamen in 1965, is mij altijd bijgebleven als een bijzonder inspirerende ontmoeting.

Onmisbare subjectiviteit

Om te beginnen maakt Sizoo duidelijk dat hij in hoofdzaak gelukkig is met de toename van het besef van betrekkelijkheid, dat gepaard ging aan de 20^e-eeuwse ontwikkelingen van de fysica. Hij ziet deze toename als een gezonde correctie op zowel het naïeve realisme van de klassieke fysica (1940, p. 6), als ook op de veel te hoogmoedige kennispretenties die op den duur gepaard gingen aan de Newtoniaanse mechanica, zoals bijvoorbeeld bleek uit het wereldbeeld van Laplace (1940, p. 40)¹⁴⁴.

Sizoo ontwikkelt vervolgens een visie op objectiviteit en subjectiviteit in de fysica die in een belangrijk opzicht verschilt van Russells visie op het abstracte '*objectieve residu*' (pagina 398 e.v.), waarbij ik later constateerde dat de kwantummechanica dan met evenveel recht aanspraak kan maken op een '*objectief residu*' (pagina 431). Sizoo blijkt het standpunt in te nemen dat er nog meer subjectiviteit erkend moet worden dan Russell doet.

Het verschil met Russells visie berust vooral op Sizoo's opvatting van de rol van wiskunde in de fysica. In de eerste plaats benadrukt Sizoo, sterker dan ik bij Russell kon vinden, dat wiskunde voor een fysicus niet de status heeft van een uiteindelijk doel, of van een doel in zichzelf, maar de status van een *hulpmiddel*. Weliswaar een mooi en onmisbaar hulpmiddel, maar toch ook niet meer dan dat. De instrumentele rol van wiskunde blijkt om te beginnen uit het gegeven dat fysische kennis meer omvat dan alleen hetgeen dat kwantificeerbaar is, en in wiskundige formules is terug te vinden (1940, pp. 12-23). De fysica ontwikkelt ook beschrijvende begrippen en onderscheidingen, en fysische structuur is veel meer dan een structuur van punten, lijnen en vlakken in een kwaliteitsloze ruimte. Het is een structuur van fysische dingen (neutronen, protonen, atomen, moleculen) met fysische kwaliteiten (beweging, massa, lading) in een fysische ruimte (veld) (1940, p. 14). Natuurlijk leert de wonderlijke toepasbaarheid van de mathematische methode wel iets belangrijks, namelijk dat kwantificeerbare kenmerken en werkingen van fysische dingen steeds opnieuw een samenhang blijken te hebben die heel precies correspondeert met de exactheid en logica van een wiskundige structuur. Wiskunde blijkt een wonderlijk adequaat hulpmiddel te zijn om de invarianties, die men in de fysische natuur kan ontdekken, nauwkeurig te beschrijven (1940, p. 15). Sizoo blijkt in 1940 het 'wonder van de wiskunde' op dezelfde wijze te beschrijven, zoals Wigner dat 20 jaar later in zijn beroemde artikel deed. Maar, daarbij moet niet vergeten worden dat de op fysische begripsvorming gebaseerde wiskundige taal niet zelf het object is waar het in de fysica om gaat, maar slechts een taal voor de *beschrijving* van de objecten waar het om gaat. Sizoo gebruikt het beeld van een landschap en zijn beschrijving. Het creatieve vormgeven aan begrippen, aan onderscheidingen, en aan allerlei andere taalconstructies die uitdrukking geven aan structuren die een mens in het landschap kan herkennen, dat is een 'subjectief' aandeel dat in geen enkele vorm van beschrijving gemist kan worden.

¹⁴⁴ Zie ook het eerder besproken Laplace-citaat op pagina 353.

Waar het in de wetenschap om gaat is de vraag of de beschrijving *correspondeert* met het beschreven landschap (1940, pp. 10-11). De geschiedenis van de fysica heeft geleerd dat met name wiskundig-logische taalconstructies zeer geschikt zijn om structuren van het fysische landschap nauwkeurig corresponderend te beschrijven.

Sizoo blijkt hier een benadering te volgen die nauw verwant is met de in deze studie gevolgde (en aan Rosen ontleende) model-benadering. De model-schema's berusten immers op de onderscheiding tussen *beschrijving* (de rechterkant, het model, de calculus F) en *het origineel* dat beschreven wordt (de linkerkant). Het creatieve werk, om een goed corresponderende beschrijving te ontwikkelen, dat is de taak van onderzoekers, dat wil zeggen van mensen.

Het verschil tussen Russell en Sizoo komt erop neer, dat Sizoo benadrukt dat de wiskunde, die mensen in een lang historisch proces hebben ontwikkeld, niet meer is dan *een* menselijke taal. Natuurlijk is het een bewonderenswaardige prestatie van de relativiteitstheorie om een mechanica te leveren die onafhankelijk is van de bewegingstoestand (de snelheid, en de versnelling) van een observator (1940, p. 15), maar die mechanica blijft een beschrijving in een mentaal en is *niet* een onafhankelijk van mensen bestaande Objectieve Partituur voor de muziek van de kosmos. Het lijkt mij dat Sizoo met Russell kan instemmen, dat de mathematische beschrijvingen die de relativiteitstheorie levert 'objectief' zijn, in de zin dat alle fysische observatoren het over deze beschrijving (voorlopig) eens zijn, maar *niet* kan instemmen met zijn vervolgzin: dat dit impliceert (volgens gezond verstand!) *dat die gemeenschappelijke kern beschouwd moet worden als een realiteit die op-zich bestaat, zonder bijdragen die van observatoren afhankelijk zijn* (zie pagina 398).

Sizoo erkent wel dat er een realiteit is die op-zich bestaat, maar hij blijft benadrukken dat de *beschrijving* van die realiteit, in een fysische theorie, resulteert uit een wisselwerking tussen subject en object (1940, pp. 7, 23). In die beschrijving blijven aandelen van beide kanten aanwezig, zonder dat het mogelijk is die helemaal van elkaar te scheiden. Dát een beschrijving per definitie in een taal geformuleerd moet zijn, en dát het noodzakelijk mensen zijn die met hun creatieve taalvermogens vorm moeten geven aan een dergelijke taal, toont al aan dat er in iedere beschrijving, en dus ook in een fysisch model of theorie, altijd een aandeel van de subjectkant *moet* zijn. Dat die taal in het geval van de fysica voor een belangrijk deel de taal van de wiskunde is, maakt voor Sizoo niet uit.

Kritiek op essentialisme

Sizoo is het niet eens met de opvatting dat wiskundige taal een status heeft die haar boven alle andere talen verheft. Een opvatting met een lange traditie, die bij de oude Grieken al te herkennen is. Zoals ik in hoofdstuk 4 beschreef (§ 2.b) kwamen Griekse filosofen en wiskundigen al tot de opvatting, dat de abstracte vormen die de wiskunde onderzoekt bovenmenselijke (eeuwige, universele, goddelijke) essenties vertegenwoordigen. Daarom wordt deze opvatting ook wel als *essentialisme* aangeduid (Popper, 2002, pp. 134-139). Dit essentialisme werd later door een lange rij van onderzoekers

geïncorporeerd in hun christelijke levens- en wereldbeschouwing. Zoals ik op diezelfde plaats aanstipte, leidde dit tot de notie van de Schepper als Grote Wiskundige, en het idee dat exacte wetenschappers in hun wiskundig denken de gedachten van de Schepper na-dachten (hoofdstuk 4, § 2.b). In de 17^e eeuw kwam daar nog bij dat grondleggers van de empirisch-mathematische fysica, zoals Galilei en Descartes, dit essentialisme versterkten met hun opvatting, dat de zintuiglijk waarneembare kenmerken die zich het beste lenen voor mathematisering beschouwd moesten worden als 'primaire kenmerken', ofwel als goddelijk gegarandeerde zuiver objectieve kenmerken (pagina 348 e.v.). Zodoende konden ook onderzoekers in de fysica zichzelf beschouwen als 'kleine collega's van de grote Schepper', die in staat waren om de overwegingen te reconstrueren die Hij bij zijn schepping hanteerde (zie bijvoorbeeld het Newton-citaat op pagina 352).

Tegenover deze lange essentialistische¹⁴⁵ traditie bepleit Sizoo de stelling dat de mathematische taal van de fysica geen hogere status verdient dan die van een menselijk hulpmiddel, dat tot geluk en verwondering van fysici voor hun discipline buitengewoon adequaat is. Voor deze stelling voert hij in hoofdlijn drie argumenten aan:

1. Sizoo's belangrijkste bezwaar tegen het essentialistische wereldbeeld is van levensbeschouwelijke aard. Vanuit zijn christelijke geloof beschouwt hij het idee, dat een wiskundige of een natuurkundige de gedachten van de Schepper zou kunnen nadenken, als een uiting van volkomen ongerechtvaardigde hoogmoed. "*Want de 'gedachten Gods' zijn die van den Schepper, en het fysisch denken is denken van een schepsel over schepselen*" (1940, p. 10).

Sizoo is het ook niet eens met het mensbeeld, dat van oudsher met het essentialisme samenging (nog eens versterkt door het dualisme van Descartes), dat er een principieel onderscheid gemaakt zou moeten worden tussen lichaam en geest, en dat de geest van een hogere orde geacht zou moeten worden dan het lichaam. "*Want ook de mensch is, naar lichaam en geest, deel der schepping, en daarom naar beide toegelegd op de wereld waarin hij werd geplaatst*" (1940, pp. 39-40). 'Geestelijke' honger naar kennis beschouwt Sizoo daarom, als geheel vergelijkbaar met 'lichamelijke' honger naar voedsel, als een aspect van het op elkaar toegelegd zijn van mens en wereld. "Zoals zijn honger gericht is op zijn lichamelijk voedsel, en het hem passende voedsel in de materiële werkelijkheid niet ontbreekt, zoo is zijn kennisdrang gericht op logische kennis, en is de mogelijkheid tot het verwerven daarvan in de ordening der werkelijkheid gegeven" (1940, p. 40). Het vermogen van de fysicus, om met behulp van wiskunde en logica invariante structuren in de natuur te ontdekken, is dus in principe niet wonderlijker of anders dan het vermogen van de mens om in diezelfde natuur zijn voedsel te vinden en te verbouwen. De logische begrijpelijkheid van de natuur is daarom voor Sizoo een 'ervaringsfeit' dat geen aanleiding geeft tot

¹⁴⁵ Sizoo gebruikte zelf de term 'essentialisme' niet. Deze term werd, in de hier bedoelde zin, pas later door Popper geïntroduceerd. Sizoo kritiseerde het essentialisme dus 'avant la lettre'.

een essentialistische verklaring. Dit ervaringsfeit wordt door het geloof in God de schepper niet 'verklaard', maar wel 'opgeklaard' (1940, p. 10).

2. Dat fysische kennis menselijke kennis is, gebonden aan de geestelijke en materiële hulpmiddelen waarover de mens beschikt, dat impliceert geen degradatie van die kennis. In tegendeel, dat is juist het "*waarmerk der echtheid*" van die kennis. Juist waar de mens zich boven de grenzen van zijn schepsel-zijn meent te kunnen verheffen, zoals in de klassieke deterministische fysica met als duidelijke exponent de fictie van Laplace, ontardt de kennis van de mens in valse kennis (1940, p. 40).

Tegen deze achtergrond is Sizoo er content mee dat de kwantummechanica, duidelijker dan de relativiteitstheorie, blijk geeft van erkenning van het menselijk aandeel. Van de relativiteitstheorie kan nog gezegd worden dat zij de objectiviteit van fysische wetten accentueert omdat zij deze wetten onafhankelijk maakt van de bewegingstoestand van de waarnemer. De kwantummechanica accentueert daartegenover het menselijk aandeel wanneer haar fundamentele wetten niet het atomaire gebeuren zelf blijken te determineren, maar de waarschijnlijkheid dat een waarnemer bepaalde resultaten kan waarnemen (1940, pp. 24, 37-38).

3. Het is voor Sizoo een evident ervaringsgegeven dat de natuur van de natuurkunde niet dé natuur is. Wie alles tot schijn verklaart dat niet tot het fysische wereldbeeld behoort, en alleen het fysische tot essentie wil verklaren, die komt met de praktische beleving van de volle werkelijkheid in flagrante strijd (1940, p. 14).

Verbeterde onwetendheid (deel 1)

Het gedeelte van Sizoo's visie dat tot nu toe is weergegeven bracht hem tot een eigen antwoord op de vraagstelling van de vorige verkenning van verbeterde onwetendheid (pagina 434): *Geeft de formele taal die de ontwikkeling van de kwantummechanica begeleidt nieuwe aanleiding om te spreken van verbeterde onwetendheid?*

Het antwoord van Sizoo komt erop neer dat hij aan de kwantummechanica een nieuwe ontuchtering ontleent, die Russell op grond van zijn interpretatie van de relativiteitstheorie nog niet wilde toegeven. Russell zag in de relativiteitstheorie nog geen dwingende redenen om het 17^e-eeuwse concept van 'zuivere objectiviteit' op te geven, terwijl Sizoo in zijn ervaringen met de kwantummechanica aanleiding ziet om tot de conclusie te komen, dat de 17^e-eeuwse aanname, dat de fysica kennis zou kunnen verwerven die van elk subjectief aandeel gezuiverd zou zijn, achteraf gezien een illusoire mythe is. De argumenten die Sizoo hiervoor aanvoert zijn (afgezien van Sizoo's religieuze taal) samen te vatten als:

- Fysische modellen zijn *beschrijvingen*, die als zodanig per definitie op een subjectief aandeel berusten, dat uit beschrijvingen nooit 'weggezuiverd' kan worden.
- Dat die beschrijvingen voor een belangrijk deel in wiskundige taal geformuleerd zijn, betekent niet dat deze taal een uitzondering kan maken op het bovenstaande, als een soort bovenmenselijke of 'goddelijke' taal. Ook wiskunde is een taal die berust op menselijke vermogens. Vermogens die gebaseerd zijn op de natuurlijke 'uitrusting' van de mens, die zelf ook deel uitmaakt van de natuur, en die daarom

- niet wonderlijker zijn dan andere vermogens van de mens, die even wonderlijk adequaat zijn aan zijn natuurlijke omgeving.
- Tenslotte blijken de fundamentele invarianties die de kwantummechanica blootlegt, invarianties te zijn van het onlosmakelijk verweven geheel van observerend systeem en geobserveerd systeem.

Kritiek op subjectivisme

Lijnrecht tegenover degenen, die volhouden dat fysische wetten zuiver objectieve kennis van externe realiteit belichamen, staan diegenen die stellen dat fysische kennis (voornamelijk) een subjectief of geestelijk-innerlijk karakter heeft.

Een bekende vertegenwoordiger van deze laatste opvatting was Immanuel Kant, die er al in de 18^e eeuw toe kwam om afscheid te nemen van het objectivisme van de klassieke fysica. Kant beschreef zijn ommekeer tot een tegenovergestelde opvatting als een 'copernicaanse wending' (2004, p. 76). Zijn 'kritische opvatting' hield in dat de natuur niet haar wetten voorschrijft aan de fysicus, maar dat het waarnemings- en begripsvermogen van de fysicus hun wetten voorschrijven aan de natuur (1920, p. 82).

Later waren er ook natuurwetenschappers, zoals Mach of Eddington, die in de ondergang van de vanzelfsprekendheden van de klassieke fysica aanleiding zagen om te stellen dat fysische wetten en begripsvorming niet gezien moeten worden als belichaming van objectieve waarheid, maar slechts als nuttige conventies of instrumenten die voortkomen uit het vindingrijke denken van de mens, en die hem helpen om orde en eenheid te scheppen in zijn ervaringen, en om zijn omstandigheden beheersbaar te maken. Het succes van deze instrumenten bewijst niet meer dan dat de leefomgeving van de mens een zekere predispositie in zich bergt voor ordening en reproduceerbaarheid (Flipse, 2005, pp. 125-126; Sizoo, 1940, p. 9).

De afwijzing door Sizoo, van al deze 'subjectivistische' opvattingen, kan samengevat worden onder twee hoofdargumenten.

1. Sizoo's belangrijkste bezwaar tegen deze opvattingen is opnieuw van levensbeschouwelijke aard. Omdat hij gelooft dat de mens deel uitmaakt van een schepping die niet door hemzelf is uitgevonden, maar aan de creativiteit van de Schepper moet worden toegeschreven, gelooft hij ook dat er al een geordende en samenhangende werkelijkheid is voordat mensen daarover beginnen te denken (1940, p. 7).

Als fysische onderzoeker gaat hij daarom uit van het vertrouwen dat er in de werkelijkheid die hij onderzoekt orde, samenhang en eenheid te ontdekken is. En dat hij die orde en samenhang ook voor zijn deel kán ontdekken omdat hij het vermogen daartoe als schepsel heeft meegekregen (1940, pp. 39-40).

Om deze reden heeft Sizoo bezwaar tegen instrumentalistische opvattingen van fysische kennis. Het gaat in het zoeken naar die kennis niet *alleen* om nuttigheid. Het gaat ook om verdieping van inzicht als eerbewijs aan de Schepper. In 1937 waarschuwt Sizoo er al voor dat een instrumentalistische visie ertoe kan leiden dat de waarde van fysica wordt gereduceerd tot "bruikbaarheid met betrekking tot de technische krijgstoerusting" (Flipse, 2005, p. 126).

Fysisch onderzoek is, zo gezien, een onderneming die gericht is op het vinden van correlatie tussen, of synthese van, logische activiteit en logische ontvankelijkheid. Echte kennis is resultaat van het bereiken van die correlatie of synthese. Die bereikt men slechts met volledige inzet van intuïtieve en logische activiteit, moeizaam onderzoek, herhaalde vergissing en afgedwongen correctie. Dat die inspanningen beloond worden met nieuwe kennis en verdiept inzicht, bevestigt het vertrouwen dat de mens, zij het "in het zweet zijns aanschijns", "het brood der wetenschap zal eten" (1940, pp. 40-41).

2. Een andere categorie van argumenten tegen het subjectivisme ontleent Sizoo aan de geschiedenis van fysische begripsvorming. Deze geschiedenis geeft minstens zoveel aanwijzingen voor een "dwang der werkelijkheid" als voor de vrije keuzes van fysici (1940, p. 11). In de loop van zijn betoog geeft Sizoo allerlei verschillende voorbeelden daarvan.
 - + In de 19^e eeuw formuleerde J.C. Maxwell het wiskundige model voor elektromagnetische golfverschijnselen, dat tot op heden zeer goed met deze verschijnselen correspondeert (en dat later ook weer model stond voor de golfmechanica van Schrödinger). De meeste fysici waren er in die tijd echter vast van overtuigd dat de corpusculaire mechanica van Newton de meest fundamentele fysische theorie was, en dat de golfmechanica dus op enig moment tot deze 'deeltjesmechanica' herleid zou moeten worden. De fysische werkelijkheid bleek echter weerbarstiger dan deze overtuiging. De elektrodynamische verschijnselen lieten zich niet in het harnas van de klassieke mechanica dwingen, en men zag zich genoodzaakt om de zelfstandigheid van elektrodynamische begrippen te erkennen (1940, p. 11)¹⁴⁶.
 - + Uit Sizoo's eigen beschrijving van de hoofdgedachte, die Einstein bracht tot zijn postulaat van de absolute maximale snelheid van het licht (zie pagina 386 e.v.), blijkt dat een vicieuze cirkel in een redenering een belangrijke aanleiding vormde om een knoop door te hakken en dit postulaat te formuleren. Voor fysici zoals Eddington vormde deze gang van zaken de aanleiding om te stellen dat de relativiteitstheorie het gevolg is van subjectief-formele denknoodzakelijkheden, en niet afhankelijk is van observaties en empirie. Daartegenover stelt Sizoo dat de wijze waarop Lorentz de aether-hypothese verdedigde evengoed de vicieuze cirkel van Einstein kon oplossen. Het Michelson-Morley experiment (zie pagina 385) was dus toch echt nodig om te bewijzen dat de oplossing van Lorentz niet met de werkelijkheid overeenstemde. "*De relativiteitstheorie moge boven de theorie van Lorentz het voordeel der grootere logische geslotenheid bezitten, hierdoor alleen verkrijgt zij niet het recht aan haar zijde. Het zijn de ervaringsfeiten, de*

¹⁴⁶ Deze zelfstandigheid hangt nauw samen met de kwantummechanische complementariteit, die er immers op berust dat golfmodellen en deeltjesmodellen op kwantumniveau beide hun geldigheid hebben, en elkaar tegelijk logisch en observationeel lijken uit te sluiten.

door de werkelijkheid zelf verschafte gegevens, die te harer gunste beslissen" (1940, pp. 19-23).

- + Een voorbeeld, dat in 1940 actueel was, hangt samen met de wet van behoud van massa-energie. Sinds de tijd dat Einstein voorstelde om massa en energie als equivalent en in elkaar omzetbaar op te vatten, gold de wet van behoud van massa-energie in plaats van de oude wetten van behoud van massa en behoud van energie. In 1940 was de stand van zaken op dit punt, dat bijna alle kernfysische processen die men had onderzocht aan het principe van behoud van massa-energie bleken te voldoen. Het *bijna* uit de bovenstaande zin vormde echter wel degelijk een 'pijnpunt' voor deze theorie. Bij de uitzending van een elektron door een radioactieve atoomkern bleek er een kleine hoeveelheid energie of massa 'zoek' te raken. Om de theorie te redden hebben fysici toen de hypothese geformuleerd dat de verloren geraakte energie wordt weggedragen door een nog onbekend materiedeeltje, dat men het 'neutrino' noemde. Tot in 1940 was het bestaan van dit neutrino nog niet experimenteel aangetoond. Sizoo stelt dat deze situatie voor fysici een enorme aansporing vormt om de 'neutrino-hypothese' te verifiëren of te falsifiëren. Daarbij staat er veel op het spel: de wet van behoud van massa-energie wordt bevestigd, en dan kan men verder gaan op de ingeslagen weg; óf die wet wordt niet bevestigd, maar dan staan alle resultaten die op die wet gebaseerd zijn weer ter discussie. De 'objectiviteit' van het experiment moet beslissen (1940, pp. 30-32).
- + Ook op het gebied van de kwantummechanica gaat Sizoo in discussie met Eddington. Deze betoogde dat ook de revolutionaire aspecten van de kwantumtheorie voortkwamen uit subjectief-formele denknoodzakelijkheden, en onafhankelijk waren van observaties en empirie. Daartegenover betoogt Sizoo dat de noodzaak om in de kwantumtheorie de fundamentele rol van toeval te erkennen, hoeveel moeite de fysici daar ook mee hadden, uiteindelijk toch terug te voeren is op de experimenten waarmee aangetoond wordt dat aan alle wisselwerkingen tussen materie- en stralingsdeeltjes een onderste grens van zekerheid is gesteld (de onzekerheidsrelatie van Heisenberg) (1940, pp. 37-39).
- + Sizoo betoogt meer in het algemeen dat het motto van denkers zoals Eddington en Dingler, dat mathematisch-logische eenvoud 'kenmerk is van het ware', niet opgaat omdat deze 'eenvoud' meerzinnig is. Natuurlijk streven fysici bij de mathematische vormgeving aan hun modellen altijd naar zo groot mogelijk eenvoud, maar aan dat criterium is in het algemeen op verschillende manieren te voldoen. Dergelijke formele criteria hebben geen dwingend karakter. De enige onpartijdige arbiter die een beslissing kan afdwingen is dan toch het experiment (1940, pp. 32-34).

Verbeterde onwetendheid (deel 2)

Nu ook Sizoo's kritiek op de subjectivistische interpretatie van de nieuwe fysica is weer-gegeven, kan een vervolg gegeven worden aan mijn interpreterende verkenning van

Sizoo's antwoord op de vraagstelling die ik op de pagina's 434 en 440 als uitgangspunt nam: *Geeft de taal die de ontwikkeling van de kwantummechanica begeleidt nieuwe aanleiding om te spreken van verbeterde onwetendheid?*

Een cruciaal aspect van Sizoo's betoog in reactie op subjectivistische interpretaties is het accent dat hij legt op de experimentele methode van de kwantummechanica, en van de fysica in het algemeen. Deze experimentele methode doet fysica fundamenteel verschillen van zuivere wiskunde. Sizoo vond het nodig om dit opnieuw te benadrukken omdat in de nieuwe fysica vormen van wiskunde toegepast worden die oorspronkelijk niet meer dan abstracte bedenksels waren van intellectueel spelende mathematici, en dit gegeven bij een aantal collega's de gedachte had gevoed dat fysica, net als mathematica, misschien elke waarheidsclaim zou moeten opgeven.

Zoals Sizoo benadrukt, heeft het experimentele karakter van fysica echter als consequentie dat de taal van fysische modellen meer omvat dan alleen formeel-mathematische concepten. Fysische taal omvat ook beschrijvende begrippen en onderscheidingen, omvat ook begrippen voor fysische dingen met fysische kwaliteiten in een fysische ruimte (zie pagina 437). Deze begrippen hebben de bedoeling om te dienen als beschrijvingen van entiteiten en gebeurtenissen die zich afspelen in een werkelijkheid buiten de taal zelf. In die zin verschilt fysische taal van zuiver-wiskundige taal. Met andere woorden: fysische taal omvat begrippen die, hoe men het ook wendt of keert, niet alleen syntactische maar ook semantische functies vervullen. Dit geldt ook voor de taal van de kwantummechanica. Het verschil is alleen dat de semantiek van macro-fysische taal verwijst naar zaken die direct zintuiglijk controleerbaar zijn, terwijl de semantiek van micro-fysische taal verwijst naar zaken die alleen via de instrumenten van een experiment te controleren zijn. Dat verschil maakt de semantiek van de kwantummechanica onzekerder dan die van de klassieke fysica.

Sizoo is het dus niet eens met Russell, wanneer deze de wiskunde van fysische modellen de hoge status geeft van 'objectief residu', ofwel -geheel in de essentialistische traditie- van een zuiver objectieve Partituur van de Kosmos. Aan de andere kant is Sizoo het er ook niet mee eens dat de rest, de omkleiding van de wiskunde met taal die het bestaan van reële objecten suggereert, gedegradeerd wordt tot de complete onwetendheid van een dove. Sizoo verdedigt de stellingname dat *beide* aspecten van fysische taal resulteren uit interactie, en daarom ook *beiden* een onontwarbare verwevenheid van subjectieve en objectieve aandelen vertegenwoordigen. Het is niet alleen de wiskunde, maar het zijn ook de fysische begrippen zoals 'elektron', 'foton' en 'proton', die verwijzen naar een objectieve 'tegenspeler' waarmee de fysicus in interactie is, en die de fysicus inspireert tot creatieve begripsvorming. Het spel met wiskunde en begrippen is meer dan 'alleen maar spel' (zoals in de zuivere wiskunde). Het creatieve spelen met wiskunde én begrippen is voor de fysica *instrumenteel* in de zoektocht naar beter en dieper inzicht in een buiten het spel aanwezige werkelijkheid waar het spel naar verwijst.

Fysica is een discipline die, door middel van het fysisch experiment, een specifieke soort van *interactie* met een tegenspeler organiseert. Een interactie waarmee de fysicus

de tegenspeler dwingt om antwoorden op vragen te geven, en waarbij de tegenspeler de fysicus dwingt om ook ongewenste en onverwachte antwoorden te accepteren. Dit laatste noemt Sizoo 'dwang der werkelijkheid'. Van dit laatste dwingende karakter zijn vele voorbeelden te geven. Het fundamentele toeval werd na veel tegenstand en met veel moeite door fysici tenslotte geaccepteerd omdat er geen ontkomen meer aan was. Het vertrouwde newtoniaanse beeld van overzichtelijke ruimte en tijd werd pas opgegeven toen weerbarstige conceptuele problemen en experimentele uitkomsten daartoe dwongen. En, zoals we aan het begin van deze paragraaf hebben gezien: het vanzelfsprekend lijkende óf-óf denken over golven en deeltjes, werd pas opgegeven toen onbegrijpelijke uitkomsten van vele experimenten het én-én denken volgens een complementaire logica afdwongen.

Een blijvend verschil tussen de kwantumwereld en fictieve 'sprookjeswerelden' is, dat de taal van de fysica uitgaat van het vertrouwen dát die vreemde wereld bestaat, al is de huidige *inhoud* van het geloof in die wereld feilbaar en voor verbetering (soms radicale vernieuwing) vatbaar¹⁴⁷. Net zo goed als we sinds Newton gingen geloven dat 'aan-trekkingskracht-op-afstand' echt bestaat, worden we nu aangespoord om te geloven dat ruimte gekromd wordt door massa, en dat licht bestaat uit golven die alleen maar in pakketjes voorkomen, en dat die pakketjes in een ogenblik in keiharde deeltjes kunnen veranderen, en dat andere 'dingetjes' die zich vaak als keiharde deeltjes gedragen, ook ruimtelijk verdeelde 'waarschijnlijkheidsgolven' kunnen zijn. Uit de geschiedenis van de fysica kunnen we leren dat er een tijd zal komen dat we een deel van ons huidige geloof zullen moeten opgeven, maar zolang als dat niet zo is, zit er niets anders op dan genoegen te nemen met de huidige versie van ons geloof in de kwantumwereld.

Op grond van het bovenstaande kan ik nu concluderen in welke opzichten Sizoo's interpretatie van de kwantumfysica, in aanvulling op de eerder gegeven antwoorden, kan leiden tot *verbeterde* onwetendheid.

In de eerste plaats lijkt Sizoo's accent op *interactie* (zowel belichaamd in het fysisch experiment als in het ontwikkelen van een corresponderende beschrijving) mij een verbetering ten opzichte van het klassieke accent op 'afstandelijke' *observatie en denken*. Het lijkt mij aannemelijk dat ons realiteitsbesef meer te danken is aan de rijkere bron van participerende interactie, dan alleen te danken is aan afstandelijk observeren en denken.

In de tweede plaats waardeer ik het ook als een verbetering dat Sizoo dit accent op interactie in samenhang ziet met de levensbeschouwelijke stellingname dat de mens in de eerste plaats *deel uitmaakt* van de natuur. Daarmee breekt hij met een lange traditie, die ook veel aanhang had (en heeft) binnen het christendom, waarin het natuurbeeld

¹⁴⁷ Onderzoekers hebben dit geloof nodig om onderzoek te kunnen doen naar deelonderwerpen van de kwantummechanica, waarbij onderzoekers werken aan de ontwikkeling van modellen op het niveau van Qs en F' (Figuur 27 op pagina 434).

van natuurwetenschap en technologie als één van de argumenten werd (en wordt) gebruikt om mens en cultuur tegenover de natuur te stellen. De ontwikkeling van die tegenoverstelling van mens en natuur beschreef ik hiervoor in hoofdstuk 12 (§ 6, pp. 369-380). Aan het eind daarvan kwam ik met Van der Wal (2011) en Lemaire (1976) tot de conclusie dat deze tegenoverstelling resulteert in een verhouding tussen natuur en cultuur die onder andere de huidige ecologische problematiek tot gevolg heeft. In het licht daarvan betekent Sizoo's visie een belangrijke verbetering, en was hij in 1940 zijn tijd ver vooruit. Het lijkt mij duidelijk dat dit verband tussen natuurkunde en levensbeschouwing, dat Sizoo nadrukkelijk aan de orde stelt, ook pedagogische consequenties heeft. Consequenties, die voor natuurkundeleraars en schoolleiders zeer de moeite waard zijn om zich daarover te beraden.

In de derde plaats maakt Sizoo duidelijk dat fysica de inbedding nodig heeft van een levensbeschouwelijke interpretatie. Die inbedding is nodig vanwege vragen die niet binnen de fysica zelf beantwoord kunnen worden. De vraag bijvoorbeeld, hoe het vertrouwen begrepen kan worden, dat fysici motiveert bij hun pogingen om op hun wijze steeds meer te gaan begrijpen van de natuur. Het vertrouwen dat hun kennis werkelijk betrekking heeft op een 'tegenover', ook al wordt die steeds onvoorstelbaarder. Het vertrouwen dat er voortdurend orde in de vorm van invarianties te ontdekken zal zijn, en dat die orde in 'mooie wiskunde' geformuleerd kan worden. Hoewel ik het antwoord van Sizoo op deze vragen niet meer kan naspreken, ben ik het er wel mee eens dat het vertrouwen, waar fysische onderzoekers op bouwen, vraagt om inbedding in de ruimere vormen van vertrouwen waarmee mensen zich in het leven staande houden.

Een andere vraag, die om een dergelijke inbedding vraagt, is de vraag of natuurkunde alleen maar van waarde is vanwege haar nuttigheid, of dat zij ook *intrinsieke waarde* heeft. Om welke redenen zou een jong mens ervoor kiezen om een deel van zijn leven te wijden aan fysica? Alleen omdat de commercie, de industrie en het leger fysische kennis zo goed kunnen gebruiken, en je je op die wijze een duur betaald en onmisbaar specialisme kunt eigen maken? Of ook omdat fysica de kennismaking met en ontdekking van 'wonderen van de natuur' te bieden heeft? Een kennis die verrijkt omdat zij bijdraagt aan de ervaring dat wij mensen deel uitmaken van een wonderlijk mysterie; een mysterie dat ons bescheiden maakt, maar dat ons ook oproept tot betrokkenheid en het geven van een eigen bijdrage, en dat ons zodoende in contact brengt met waarden die het leven de moeite waard maken. Ook bij deze vragen kan ik de antwoorden van Sizoo niet meer naspreken, maar heb ik er veel waardering voor dat hij op zijn wijze, in zijn tijd, en in zijn situatie het belang van deze vragen onderkende en daar antwoorden op zocht.

Sizoo zette zich duidelijk in voor een kritische dialoog tussen de (on)wetendheid van de fysica van zijn tijd en de (on)wetendheid van de levensbeschouwing van de gereformeerde kringen van zijn tijd. Daarmee gaf hij een belangrijke aanzet tot verbetering van onwetendheid, zowel van de onwetendheid op fysisch gebied als van de onwetendheid op levensbeschouwelijk gebied.

Te verbeteren onwetendheid

Het lijkt mij goed om, als afsluiting van het gedeelte over Sizoo's visie, nog kort in te gaan op het laatste, namelijk: de vraag of en hoe Sizoo's erkenning van het menselijk-interactionele karakter van fysieke kennis ook kan bijdragen aan verbetering van onwetendheid op levensbeschouwelijk gebied.

Sizoo heeft er beslist zijn best voor gedaan om, in de kringen van en rond de VU, de discussie over levensbeschouwelijke reacties op de ontwikkelingen en resultaten van de moderne fysica op gang te krijgen. Het eerste forum waarin die discussies inderdaad op gang kwamen was de *Christelijke Vereniging van Natuur- en Geneeskundigen in Nederland* (CVNG). In die vereniging was men met vakgenoten onder elkaar, en in die kring kwamen de discussies over wetenschap en geloof inderdaad op gang. Sizoo kaartte deze discussie met name aan voor het thema 'ouderdom van de aarde'. In 1933 publiceerde hij het boek *Radioactiviteit* waarin hij onder andere duidelijk maakte, dat de radiometrische methoden die op de kernfysica gebaseerd zijn (zie pagina 423) in die tijd al kwamen tot schattingen van de ouderdom van de aarde, die varieerden tussen vele honderden miljoenen jaren, en enkele miljarden jaren. In ieder geval zou de aarde volgens die metingen, en ondanks alle voorbehoud van wetenschappelijke twijfel, veel ouder moeten zijn dan de 6000 jaar die gebaseerd waren op letterlijke interpretaties van het scheppingsverhaal en de geslachtsregisters uit de Bijbel. Die letterlijke interpretaties waren in gereformeerde kring en onder de theologen van de VU in die tijd nog zeer gangbaar, en Sizoo vond dat men er niet omheen kon, om na te denken over de tegenspraak tussen resultaten van fysica en letterlijke interpretaties van de Bijbel. Uit de geschiedenis van de pogingen, om voor en na de oorlog van 1940-1945 een gesprek op gang te krijgen tussen natuurwetenschappers enerzijds en theologen en filosofen van de VU anderzijds, spreekt vooral de moeizaamheid van die pogingen (Flipse, 2005, pp. 111-119, 129-132, 165-169). De crux van die moeizaamheid berustte naar mijn inschatting vooral op het verschil dat Sizoo c.s. radicaal afstand namen van alle pretenties van bovenmenselijkheid of goddelijkheid, die eeuwenlang onderdeel geweest waren van de traditie van de exacte natuurwetenschap, terwijl zowel de theologen als de filosofen aan de VU heel lang bleven vasthouden aan vergelijkbare pretenties van transcendentie of goddelijkheid van kennis aan hun kant. Het was pas in 1974 dat een VU-theoloog de befaamde uitspraak deed "*Alles wat wij over boven zeggen komt van beneden, ook als wij zeggen dat het van boven komt*" (Kuitert, 1974), en ook toen nog kreeg deze theoloog van een deel van zijn achterban een storm van verontwaardiging over zich heen.

Het is mijn plan om aan het einde van dit deel III, net als aan het einde van deel II, antwoord te geven op de vraag naar de vormende waarde die de schoolvakken natuurkunde en scheikunde voor leerlingen kunnen hebben. Welnu, om op die vraag naar de vormende waarde van deze schoolvakken antwoord te kunnen geven is het nodig om de kennisbenadering van deze vakken in te bedden in een bredere levensbeschouwelijke visie. Zoals ik hierboven al schreef kunnen de woorden waarin Sizoo zijn levensbeschouwing beschreef in een andere tijd en door andere mensen niet klakkeloos herhaald wor-

den. Het lijkt mij pedagogisch van groot belang dat opvoeders, inclusief schoolleiders, zich blijven inzetten voor een levensbeschouwing die voortdurend verbeterd wordt op grond van nieuwe kennis en nieuwe zingevende ervaringen (hoofdstuk 2, § 2). Daarom zal ik in het volgende hoofdstuk over 'Fysica en waarheid' een visie uitwerken, die voor mij geloofwaardig is, en die hopelijk andere opvoeders (pedagogische leiders) aanmoedigt om vorm te geven aan hun eigen visie.

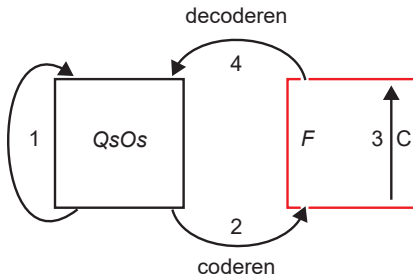
2.f Gehandhaafde mechanica?

In de inleiding tot dit deel heb ik fysica geïdentificeerd als de tak van natuurwetenschap die natuurlijke dynamische systemen opvat als mechanismen (pagina 319 e.v.). Deze identificatie ging terug op de nieuwe identiteit van de exacte natuurwetenschappen die zich in de 17^e-18^e eeuw consolideerde. De kern van deze nieuwe identiteit berustte op de keuze om de aristotelische *causa finalis* te elimineren uit het fysische concept van gevolglijkheid. Het resultaat was het 'moderne' concept van causaliteit, dat zowel verklaringen vanuit doelmatigheid, als verklaringen van delen vanuit een geheel uitsluit (hoofdstuk 11, § 3).

Daarnaast motiveerden de successen, die fysici vanaf de 17^e eeuw boekten met het toepassen van steeds verder geavanceerde wiskunde, tot handhaving en versterking van de strenge eis om de causaliteit die fysica kan ontdekken in wiskundig-formele taal te beschrijven (hoofdstuk 11, § 1.a).

In de derde plaats ontwikkelden de pioniers van de moderne fysica in de 17^e eeuw criteria voor de 'objectieve observaties' op grond waarvan discussies over feitelijke juistheid beslist kunnen worden (hoofdstuk 12, § 2).

Figuur 28



Modelvorming van een QsOs

Ter wille van de vraag of de relativiteitstheorie trouw blijft aan deze traditionele identiteit, heb ik deze op pagina 404 in vijf criteria samengevat. Om te kunnen beoordelen of ook de kwantummechanica aan deze traditionele kenmerken trouw blijft, zal ik deze vijf criteria nu in eerste instantie toepassen op het macro-fysische niveau van een kwantum-systemen observerend systeem (pagina 430):

1. De kern van model F moet een formele calculus C zijn die 'semantisch blind' uitgevoerd kan worden.
2. De observaties, die dienen als input voor F en die F als output oplevert, moeten observaties zijn van primaire kenmerken van een kwantumsysteem observerend systeem $QsOs$.
3. De door F gegenereerde output moet nauwkeurig overeenstemmen met observaties aan $QsOs$ die door verschillende observatoren onafhankelijk van elkaar zijn gedaan (ook indien deze output een kansverdeling is).
4. Toekomstige toestanden van $QsOs$ moeten uitsluitend door voorafgaande toestanden bepaald zijn (het principe van recursieve gevolgbijheid, dat functionaliteit en finaliteit uitsluit, zie pagina's 339, 343 en 357).
5. Toestandsveranderingen van $QsOs$ als geheel moeten afgeleid kunnen worden uit toestandsveranderingen van de deelsystemen waaruit $QsOs$ is opgebouwd, c.q. uit de deelmodellen waaruit model F als geheel bestaat (het principe van synthetische gevolgbijheid, zie pagina's 343 en 357).

Aan de hand van deze vijf criteria zal ik nu nagaan in welke mate het klassieke concept van mechanica gehandhaafd of veranderd is door de kwantummechanica.

1. In principe wordt dit criterium door de kwantummechanica gehandhaafd. Er is nog steeds een formele calculus C die semantisch blind uitgevoerd kan worden. Binnen die handhaving zijn er echter ook verschillen te noteren:
 - a. Wat betreft de inhoud en opbouw van calculus C zijn er twee verschillen:

In de eerste plaats maakt nu, naast de calculus van de klassieke corpusculaire mechanica, ook de golfmechanische calculus deel uit van C .

In de tweede plaats heeft waarschijnlijkheidsrekening nu een 'diepere' positie binnen de structuur van C dan de positie die op den duur binnen de klassieke mechanica al mogelijk was. Dit verschil in positie hangt samen met het verschil tussen kwantumtoeval en chaotisch toeval dat beschreven werd op pagina 421 e.v. In een kwantummechanische calculus heeft waarschijnlijkheidsrekening betrekking op toestandsvariabelen van elementaire deelsystemen van het afgebeelde systeem. Binnen de elementaire deelmodellen van die deelsystemen vervult de waarschijnlijkheidscomponent van de calculus een 'brugfunctie' tussen de golfmechanische en de corpusculair-mechanische componenten. In de klassieke mechanica maakt waarschijnlijkheidsrekening daarentegen geen deel uit van elementaire deelmodellen, maar maakt zij deel uit van het 'omgevingsmodel'. Als aspect van het omgevingsmodel heeft deze calculus dan betrekking op het model van het afgebeelde systeem als geheel, als doorberekening van een omgevingsinvloed op de toestandsovergangen van het afgebeelde systeem als geheel.
 - b. Model F bezit een extra 'gelaagdheid' in zijn structuur, die correspondeert met de gelaagdheid van het afgebeelde macro-fysische systeem, als een systeem dat op zijn beurt een micro-fysisch systeem observeert. Dit kan toegelicht worden

aan het voorbeeld van de tweede variant op het Taylor-experiment (pagina's 426 en 430). Variaties in de intensiteit van het elektronenscherm (zintuiglijk observeerbaar op een meetinstrument dat deel uitmaakt van *QsOs*) moeten samen met detecties van afgebogen elektronen (zintuiglijk observeerbaar via een ander meetinstrument dat deel uitmaakt van *QsOs*), volgens de spelregels van *F* en *C* omgerekend worden naar paden van onzichtbare micro-fysische fotonen. En deze paden moeten, via de kwantum-fysische modellen van deze fotonen, omgerekend worden naar klassiek observeerbare veranderingen van de lichtverdeling op scherm 3.

- c. Als derde noem ik hier een verschil dat niet direct betrekking heeft op *F* en *C* zelf, maar op de meta-fysische *interpretatie* van de status van een dergelijk model. De modellen van de klassieke mechanica werden aanvankelijk door de grote meerderheid van onderzoekers beschouwd *als zuiver objectieve weergave van structuren van een realiteit die op-zich bestaat, gezuiverd van alle 'subjectieve' bijdragen die van observatie afhankelijk zijn* (zie § 2.b). De ontwikkeling van het denken over fysica heeft daarna aanleiding gegeven tot de ontwikkeling van allerlei verschillende interpretaties die, in navolging van Sizoo¹⁴⁸, te positioneren zijn tussen de polen van extreem 'subjectivisme' en extreem 'objectivisme'. Sizoo is in het voorafgaande besproken als onderzoeker die een middenweg tussen deze extremen bepleit. Een middenweg, die erop neerkomt dat een fysisch model opgevat wordt als mathematische beschrijving van een landschap, die als beschrijving per definitie zowel op subjectieve als op objectieve aandelen berust. Waarbij 'subjectief' ook impliceert dat experimenten die op bovenpartijdige procedures berusten beslissingen kunnen afdwingen, en dat de correspondentie tussen model en origineel zo overtuigend kan zijn dat alle onderzoekers het over modelvorming eens worden. De erkenning van onvermijdelijke subjectiviteit komt dan uiteindelijk neer op erkenning van het onvermijdelijk *antropocentrische* aandeel in elk fysisch model.

- 2+ Op het macro-fysische niveau van *QsOs* blijven de klassieke eisen aan observaties, en
3. aan de correspondentie van voorspelde observaties met feitelijke observaties onverkort gelden. Daarbij observeren menselijke observatoren de betrouwbaar observeerbare output van instrumenten. De betrouwbare observeerbaarheid van de instrumenten berust op het gegeven dat hun output in primaire kenmerken is vormgegeven (afleesbare getallen, grafieken, geregistreerde sporen van deeltjes, en dergelijke).

De instrumenten zijn op hun beurt in interactie met kwantumsystemen, op zodanige wijze, dat het observeren van de effecten van deze interacties op de instru-

¹⁴⁸ Popper verdedigde later een vergelijkbare indeling van opvattingen over fysica, over een schaal waarvan hij de polen typeerde als 'essentialisme' en 'instrumentalisme' (2002, pp. 128-157).

menten aan de klassieke eisen kan voldoen. Om dit toe te lichten zal ik nu deze eisen langsgaan, aan de hand van hun formulering in § 1.b (pagina 330 e.v.).

- a. Herhaalbare identificatie van het object van onderzoek. Aan deze eis wordt voldaan doordat er "volledig eenduidige voorschriften" bestaan, en gevolgd moeten worden, bij de opzet van een experiment ('t Hooft, 2014, p. 30). Deze voorschriften betreffen zowel de constructie van meetinstrumenten als de wijze van hun gebruik, als ook overige procedures die bij een experiment gevolgd moeten worden. Zodoende is eenduidig en herhaalbaar bepaald aan welke eisen bijvoorbeeld een '*elektronen observerend systeem*' moet voldoen. En op grond van deze eisen kan onderzoek aan elektronen overal op de wereld en door willekeurig welke onderzoeker herhaald worden.
 - b. Beperking tot 'objectieve blik'. Het voldoen aan deze eis is voor een kwantumfysische onderzoeker niet anders dan voor een klassieke onderzoeker. De instrumenten kunnen niet anders dan objectief registreren, en daarom ligt de opgave om zo onbevangen en transparant mogelijk te observeren geheel op het niveau van de macrofysische observaties van de onderzoeker en zijn inrichting van het experiment.
 - c. Het waargenomen systeem niet verstoren door de waarneming. Ook aan deze eis kan op macro-fysisch niveau op dezelfde wijze voldaan worden als in het geval van klassiek onderzoek. In de meeste gevallen zelfs makkelijker omdat instrumenten meestal een 'onverstoorbare' output genereren. Een foto van sporen in een nevelkamer kan men bijvoorbeeld op diverse manieren nauwkeurig onderzoeken zonder de onderzochte sporen daarbij te veranderen.
 - d. Het bepalen van het eindige aantal veranderlijke kenmerken die een gezochte of vermoedelijke invariantie (pagina's 334 en 433) belichamen. Een kwantumfysische onderzoeker moet aan deze eis voldoen door middel van de inrichting van zijn experiment. Hij zal de keuze van zijn instrumenten en van de inrichting van het experiment afstemmen op de kwantumfysische variabelen tussen welke hij een verband vermoedt of wil toetsen. Door die afstemming zullen deze kwantumfysische variabelen uiteindelijk 'vertaald' worden in variabele kenmerken van onderdelen van zijn experiment-opstelling en van de output van zijn meetinstrumenten (zie de beschrijving van het Taylor-experiment op pagina 430). Wanneer de onderzoeker een invariantie vindt, dan zal hij deze in eerste instantie constateren op het macro-fysische niveau van de resultaten van zijn experiment, en zal hij deze vervolgens vertalen naar een invariantie op kwantumniveau.
4. Modelvorming van een *QsOs* voldoet ook aan het criterium van recursieve gevolgijsheid. Het *voorspellen* van observaties die een experiment zal moeten opleveren is daarom in de kwantummechanica nog steeds een cruciaal element in de toetsing van een model ('t Hooft, 2014, p. 30).

5. Ook aan het criterium van synthetische gevolgijsheid wordt nog steeds voldaan. Het geheel moet nog steeds begrepen worden als de som der delen, ook al is dat in de kwantummechanica niet zo eenvoudig ('t Hooft, 2014, p. 27).

Conclusie: voor het verklaren van de uitkomsten van een kwantumsysteem observerend experiment gelden nog steeds alle criteria voor observatie en voor modelvorming van mechanismen. *Wanneer men een QsOs beschouwt als object van onderzoek dan is ook kwantummechanica nog steeds een vorm van mechanica.*

Modelvorming van een Qs

Wanneer we echter een kwantumsysteem zelf als object van onderzoek beschouwen, dan moeten we ons in gedachten verplaatsen naar een 'vreemde wereld'. Een wereld waarin zich gebeurtenissen afspelen die in de 'gewone wereld' onmogelijk zijn, waarin wezens voorkomen die in de gewone wereld niet kunnen bestaan, en waarin een andere logica heerst dan in de gewone wereld. Eén van de lastigste kenmerken van die vreemde wereld is, dat de kwantumobjecten kenmerken hebben die afhankelijk zijn van de vraag hoe men hen als onderzoeker observeert. Het experiment van Taylor (pagina 426) toonde bijvoorbeeld in eerste instantie aan dat fotonen ruimtelijk uitgesmeerde 'golfpakketjes' zijn, die met elkaar en zelfs met zichzelf kunnen interfereren. Maar, toen men in tweede instantie het pad en de plaats van die fotonen wilde bepalen, toen waren die fotonen ineens ruimtelijk precies gelokaliseerde keiharde biljartballetjes die elektronen uit hun baan konden stoten.

In onze 'gewone wereld' rekenen we erop dat een fysiek object vaste eigenschappen heeft, die niet afhankelijk zijn van de vraag of wij ernaar kijken of niet, of van de vraag hoe wij ernaar kijken. Dit kenmerk, dat een centrale functie vervult voor ons realiteitsbesef, heet 'objectpermanentie'. Welnu, zoals Zeilinger constateert, in de kwantumwereld geldt dit basisprincipe van onze gewone wereld niet langer: wanneer wij kwantumobjecten op een bepaalde manier observeren hebben zij specifieke eigenschappen, en wanneer wij anders observeren, dan verdwijnen sommige van die eigenschappen, en geheel andere eigenschappen komen ervoor in de plaats (2005, p. 158). Of, zoals ik het naar aanleiding van de brilmetafoor formuleerde: het is niet een kwestie van scherpstelling van een zoomobjectief; het bestaan of niet bestaan van eigenschappen die lijnrecht met elkaar in strijd kunnen zijn is afhankelijk van de vraag hoe men observeert (pagina 429).

De enige manier om dit probleem te vermijden is, dat men zich beperkt tot één van de twee complementaire modi van observeren. Zolang als men een kwantumsysteem alléén observeert volgens de 'golfmodus' of alléén volgens de 'deeltjesmodus' heeft men dit probleem niet en veranderen de kenmerken van het object niet in afhankelijkheid van de observatie (Finkelburg, 1962b, p. 222). Binnen die beperking kan men dus ook invarianties ontdekken. Maar, zodra als men overgaat naar een complementaire observatiewijze krijgt men direct te maken met een ingrijpende verandering van de kenmerken van het geobserveerde kwantumsysteem. Een dergelijke verandering impliceert een

interventie die het object van observatie zodanig verandert, dat toestandsveranderingen nadien volgens een compleet verschillend model beschreven moeten worden. Van objectpermanentie is geen sprake meer, en men komt radicaal in strijd met het criterium dat het waargenomen systeem niet verstoord mag worden door de waarneming (2+3.c, pagina 451). Het ontdekken van invarianties die een dergelijke verandering overleven is daarom onmogelijk. Invarianties moeten immers vaste relaties zijn tussen variabelen, die wel van elkaar afhankelijk mogen zijn, maar die alleen *niet* van observatie afhankelijk mogen zijn.

Conclusie: de processen en objecten die fysici op het niveau van de kwantumwereld onderzoeken voldoen niet aan de criteria voor mechanismen, en het onderzoek kan op dit niveau dus geen mechanica genoemd worden.

De redding van mechanica

Wat maakt dan de redding van de mechanica, die op kwantumniveau verloren gaat, toch mogelijk op het niveau van een *QsOs*?

De clou van deze redding berust op de terugtrekking naar de macro-fysische wereld, waarin de objectpermanentie van fysische systemen niet in gevaar komt. In die wereld wordt bovendien het proces, dat in de context van de kwantumwereld 'observatie' heette, weer een observeerbaar veranderlijk kenmerk van een macro-fysisch object. Een voorbeeld daarvan biedt mijn beschrijving van het Taylor-experiment op pagina 430. In de context van de kwantumwereld kan de plaats van fotonen bepaald worden door middel van een elektronenscherm. Het elektronenscherm is in die context een observatiemiddel, en het vervelende van de inzet van dit observatiemiddel is in die context dat de fotonen daardoor ineens andere objecten worden. Maar, in de macro-fysische wereld is de intensiteit van het elektronenscherm gewoon één van de observeerbare variabelen. Een onafhankelijke variabele die via-via uiteindelijk effect heeft op de lichtverdeling op scherm 3 als afhankelijke variabele. Op dat niveau geldt dus niet meer dat de lichtverdeling op scherm 3 afhankelijk is van observatie, maar 'gewoon' van een andere variabele.

Tenslotte moet ik bij deze redding aantekenen dat deze wel een prijs heeft. De prijs houdt in dat het observeerbare systeem *QsOs*, dat als een mechanisme opgevat kan worden, *niet langer een zuiver natuurlijk systeem is*. Tot de opstelling voor een kwantumfysisch experiment behoort vanzelfsprekend een natuurlijk deel, maar een ander onmisbaar deel van de opstelling is een door mensen gemaakte machinerie. Een machinerie, waarvan de opbouw vanuit functionaliteit verklaard kan worden. Om die reden kan men stellen dat een *QsOs* een kunstmatig-natuurlijk *hybride* systeem is.

Dat een dergelijk hybride systeem toch in zijn geheel als een mechanisme beschouwd kan worden is niet verwonderlijk. Men kan immers een machine definiëren als een artefact, dat opzettelijk ontworpen is om precies als een mechanisme te functioneren (Rosen, 1991, pp. 203-204). Omdat het door mensen ontworpen deel van een experimentopstelling volgens die definitie een machine is, en dus een analyse als mechanisme toelaat, is het mogelijk dat ook het experiment als geheel een beschouwing als

mechanisme toelaat. En dit beschouwen als mechanisme is dan ook precies wat een kwantumfysicus doet.

Tegen de achtergrond van dit alles kan ik nu Rosens conclusie delen (al is het deels om andere redenen¹⁴⁹) dat "*quantum mechanics remains mechanics*" (a.w., p. 210).

Ondanks het feit dat ik met het bovenstaande slechts een deel heb besproken van alle aspecten van de kwantummechanica, en van de interessante discussies daar omheen, sluit ik mijn bespreking van deze tak van fysica met bovenstaande conclusie af. Naar mijn beste inzicht leiden deze onbesproken aspecten niet tot een andere conclusie.

3 STANDAARDMODEL

De relativiteitstheorie en de kwantummechanica maakten geheel nieuwe terreinen van onderzoek toegankelijk voor de fysica. Het is ondoenlijk, en ook niet nodig om van die terreinen en van al dat onderzoek een min of meer compleet overzicht te geven in deze studie. Ik zal hier alleen nog een beknopte indruk geven van de recente ontwikkelingen die onder de noemer 'standaardmodel' vallen. Het zal blijken dat deze ontwikkelingen opnieuw, en in nog sterkere mate, enkele kenmerken laten zien die zich al aftekenden in mijn beschrijvingen van relativiteitstheorie en kwantummechanica. Kenmerken die er in hoofdzaak op neerkomen:

- dat de post-klassieke fysica natuurlijke werelden toegankelijk maakt die niet direct-zintuiglijk, maar alleen via geavanceerde instrumenten en daarmee verbonden wiskunde observeerbaar zijn;
- en dat er, in die indirect toegankelijke 'werelden', entiteiten voorkomen en 'spelregels' (gevolglijkheden) gelden die binnen de direct primair-zintuiglijk observeerbare natuurlijke wereld onmogelijk of onvoorstelbaar zijn.

De 'vreemde werelden', die de post-klassieke fysica sinds de 2^e helft van de 20^e eeuw verder in kaart heeft gebracht, geven alleen maar nieuwe voorbeelden van deze 'vreemde' kenmerken. Daarom is het voor een wetenschapsfilosofische interpretatie daarvan voldoende om de voorbeelden waartoe ik mij hier beperk als uitgangspunt te nemen.

3.a Handhaving van relativiteitstheorie en kwantummechanica

In de eerste plaats moet genoemd worden dat de geldigheid van de relativiteitstheorie en van de kwantummechanica alleen maar bevestigd is door al het kritisch onderzoek,

¹⁴⁹ Volgens Rosen is de redding van de mechanica vooral te danken aan de mogelijkheid om de toestanden van een kwantumsysteem te kunnen coderen naar de golfmechanica van de Schrödinger vergelijkingen (a.w., p. 210). Volgens mijn beschouwing is dat slechts een deel van die redding.

alle experimenten, en alle nieuw verworven kennis van ongeveer 100 jaar. Deze twee takken van de post-klassieke fysica gelden daarom nog steeds als een buitengewoon robuust fundament van alle fysica die sindsdien ontwikkeld is.

De bevestigde geldigheid van de kwantummechanica blijkt bijvoorbeeld uit het recente gebruik van de term 'deeltje' in boeken over het standaardmodel, zoals het boek van 't Hooft (2014). Met deze term wordt tegenwoordig eenvoudigweg datgene bedoeld dat zich niet alleen als ruimtelijk precies gelokaliseerd 'biljartballetje' maar ook als ruimtelijk verdeeld 'golfpakketje' kan manifesteren. Met andere woorden, de kwantum-complementariteit is tegenwoordig al in de term 'deeltje' inbegrepen (2014, p. 161)¹⁵⁰. Fysici hebben vanaf de 30er jaren van de vorige eeuw een omvangrijke serie van nieuwe 'deeltjes' ontdekt, en zijn er volkomen vertrouwd mee geraakt dat al die 'deeltjes' zich volkomen volgens de kwantummechanica gedragen, inclusief complementariteit en observatie-afhankelijkheid.

Ditzelfde geldt voor de relativiteitstheorie. Zodra experimenten uitkomsten opleveren die in strijd lijken te zijn met de relativiteitstheorie roepen deze bij hedendaagse fysici een wantrouwige reactie op, omdat zij door de jaren heen zozeer overtuigd geraakt zijn van de robuustheid en het fundamentele karakter van deze theorie dat zij eerder deze experimenten wantrouwen dan de relativiteitstheorie.

Een voorbeeld hiervan is de schijnbare mogelijkheid om via verstrengelde deeltjes informatie met oneindige snelheid te 'teleporteren'. Zeilinger, één van de pioniers van het onderzoek naar deze mogelijkheid, wantrouwde de overijde conclusie van sommigen, dat een oneindig snelle teleportatie mogelijk zou zijn, en toonde vervolgens aan dat de schijnbaar geteleporteerde informatie incompleet was, en dat men, om die informatie compleet te maken aanvullende informatie moet meezenden via een signaal dat zich 'gewoon' met de lichtsnelheid verplaatst. De complete informatie kan dus toch nooit sneller dan met de lichtsnelheid van A naar B overgebracht worden (2005, pp. 111-127)¹⁵¹.

Een ander voorbeeld leverde het geruchtmakende experiment in 2013, waarbij de snelheid van neutrino's gemeten werd, en het resultaat in eerste instantie leek aan te tonen dat deze deeltjes zich sneller dan de lichtsnelheid hadden verplaatst. 't Hooft

¹⁵⁰ Aangezien het boek van 't Hooft mijn belangrijkste bron is met betrekking tot het standaardmodel zal ik deze bron in het vervolg van deze paragraaf steeds aanduiden als (2014, ...).

¹⁵¹ Naar dit fenomeen van verstrengeling is in de laatste jaren ook onderzoek verricht aan de TU Delft. De Delftse onderzoekers slaagden er in 2014 in verstrengelde deeltjes te genereren op 3 m afstand van elkaar (Pfaff et al., 2014), en een jaar later om verstrengelde elektronen te genereren op 1,3 km afstand (Hensen et al., 2015; van der Heijden, 2015). Deze laatste afstand stelde hen in staat om significant aan te tonen dat de correlatie van de spins van de verstrengelde elektronen inderdaad plaats had binnen het tijdsverschil dat nodig zou zijn voor informatieoverdracht met lichtsnelheid. Naar mijn indruk ontkracht hun experiment echter niet de hier weergegeven redenering van Zeilinger.

schrijft daarover: "Vanaf het begin was het duidelijk dat experimentele aanwijzingen dat neutrino's de lichtsnelheid konden overschrijden gewoon niet waar konden zijn, en dat waren ze dus ook niet. Er zat een kabeltje verkeerd in de opstelling. Fysici weten inmiddels wel dat het hechte bouwwerk dat natuurkunde heet niet meer zo gemakkelijk aan het wankelen kan worden gebracht" (2014, p. 287).

3.b Ordening en overzicht

Vanaf de 30er jaren van de vorige eeuw gingen fysici onverdroten door met onderzoek naar 'deeltjes' (in de hierboven gegeven betekenis). Aanvankelijk vooral door het analyseren van de straling van radio-actieve preparaten, en later voor een belangrijk deel door het bouwen van 'versnellers' waarin men deeltjes met steeds hogere snelheden liet botsen op andere deeltjes of op complete atoomkernen. Uit al dit onderzoek bleek dat het 'deeltjesverhaal' nog lang niet afgesloten was met de eerder bekende fotonen, elektronen, neutronen en protonen, maar dat onderzoekers voortdurend nieuwe deeltjes bleven ontdekken. Aan het eind van de 60er jaren was de wirwar van subatomaire deeltjes zo groot dat Enrico Fermi verzuchtte "Als ik dit had kunnen voorzien, was ik plantkunde gaan studeren" (2014, p. 53). Deze wirwar deed de sterke behoefte opkomen om een onderliggende structuur te vinden aan de hand waarvan de 'deeltjeswereld' geordend kon worden. Het 'standaardmodel', dat vanaf de 70er jaren vorm begon te krijgen, kwam aan deze behoefte tegemoet. Hieronder zal ik nu, beknopt en sterk vereenvoudigd, een aantal ordeningsprincipes noemen, die voor een deel al uit de vroege relativiteitstheorie of kwantummechanica afkomstig zijn, en voor een deel van recentere datum zijn.

Een belangrijk ordeningsprincipe, dat al vanaf het begin voortvloeide uit de relativiteitstheorie, is het verschil tussen deeltjes die zich met de lichtsnelheid verplaatsen, en die dus een rustmassa hebben die gelijk is aan 0, en de deeltjes die een rustmassa hebben die groter is dan 0, en die daarom nooit de lichtsnelheid kunnen bereiken (pagina 388). Van de neutrino's, die we ondertussen twee keer zijn tegengekomen (pagina 443 en hierboven) was het een tijdlang niet duidelijk tot welke categorie zij behoren. Pas in de 90er jaren werd duidelijk dat neutrino's een zeer kleine rustmassa hebben (waarvan de precieze waarde tot op heden nog onzeker is), en dat zij daarom weliswaar zeer grote snelheden, maar niet de lichtsnelheid kunnen bereiken (2014, pp. 62, 160).

Een ordeningsprincipe dat al voortvloeit uit de vroege kwantummechanica berust op het kenmerk 'spin'. Dit kenmerk werd al in 1925 ontdekt door twee Leidse promovendi, Goudsmit en Uhlenbeck, die kennis van de fijnverdeling van spectraallijnen en van magnetische invloeden daarop combineerden, en tot de conclusie kwamen dat een elektron niet alleen rond de atoomkern bewoog of trilde, maar ook een kenmerk had dat men bij een macroscopisch deeltje zou uitleggen als het draaien om de eigen as (2014, pp. 44-45; Finkelburg, 1962a, pp. 92-94; Squires, 2015, p. 5). Gemakshalve gaven zij

daarom de naam 'spin' aan dit kenmerk. Men moet 'gemakshalve' hier beslist aan toevoegen vanwege de complementariteit. Een elektron *is* niet een 'gewoon' materieel deeltje, maar kan ook een trillingspakketje zijn, en van dit laatste kan men zich niet voorstellen dat dit om zijn eigen as zou kunnen draaien. Bovendien is het vreemde van 'spin' dat deze ook gekwantiseerd is. Met andere woorden, 'spin' kan niet alle waarden hebben, maar alleen veelvoud van de waarde die men op een gegeven moment heeft afgesproken als: spin met de waarde $\frac{1}{2}$. Later heeft men ontdekt dat er nog veel meer deeltjes bestaan met het kenmerk 'spin'¹⁵². Men kan deeltjes daarom indelen op grond van de waarde van hun spin, volgens een opklimmende schaal: 0 (= geen spin), $\frac{1}{2}$, 1, $1\frac{1}{2}$ of 2 (zie het overzicht op pagina 459 e.v.).

Een indeling die op de voorgaande gebaseerd is, is de indeling in bosonen en fermionen (2014, pp. 45-46). Bosonen zijn de deeltjes met een heeltallige spin (0, 1, of 2), en fermionen zijn deeltjes met een halfallige spin ($\frac{1}{2}$ of $1\frac{1}{2}$). Voor alle fermionen geldt het uitsluitingsprincipe van Pauli. Dit principe houdt in dat er een viertal kenmerken zijn, die voor twee van die deeltjes nooit alle vier aan elkaar gelijk kunnen zijn. Dit impliceert bijvoorbeeld voor elektronen dat zij, als zij al voor drie van de vier kenmerken aan elkaar gelijk zijn, niet meer op dezelfde plaats kunnen voorkomen. Daarom mijden de elektronenwolken van atomen elkaar en ontstaat de ondoordringbaarheid die we van materie gewend zijn (Finkelburg, 1962a, pp. 130, 197-202). 't Hooft karakteriseert fermionen daarom als 'individualistisch'. In tegenstelling daarmee zijn bosonen (zoals fotonen) als 'collectivistisch' te karakteriseren. Deze deeltjes kunnen in alle opzichten wel geheel aan elkaar gelijk zijn. Dit kenmerk maakt onder andere laserlicht mogelijk (2014, p. 47).

Een merkwaardig verschijnsel, dat met dit onderscheid samenhangt, is supergeleiding (2014, pp. 98-99). Bij zeer lage temperaturen kan er in een metaal paarvorming van elektronen plaats vinden. De twee elektronen van ieder paar spinnen dan in tegenovergestelde richting, en ieder paar als geheel heeft daardoor geen spin meer. Het paar gedraagt zich dan als een deeltje met spin 0 en elektrische lading -2. Dat nieuwe deeltje is zodoende niet langer een fermion maar een boson! Bij een zeer lage temperatuur kunnen die bosonen (ook wel 'Cooperparen') zich collectief in de laagste energietoestand storten (de zogenaamde Bose-Einsteincondensatie), zodat er aan die deeltjes geen ener-

¹⁵² Een voorbeeld daarvan is het kerndeeltje 'proton' dat positief elektrisch geladen is, en ook een spin heeft. De bekende MRI-scan maakt gebruik van de spin van het proton waaruit de kern van een waterstofatoom bestaat (zie pagina 411). In de scanner worden de asrichtingen van de spinnende protonen eerst gelijkgericht door een constant magnetisch veld. Vervolgens wordt aan die protonen energie toegevoerd in de vorm van fotonen met een radiofrequentie (lager dan zichtbaar licht). Wanneer die fotonen de juiste energie hebben kunnen zij de gelijkgerichte protonen in een andere asrichting zetten. Na korte tijd vallen die protonen weer terug in de gelijkgerichte stand en zenden daarbij een foton uit dat gelijkwaardig is aan het energieverval. Die fotonen worden opgevangen en verwerkt tot een beeld (Encyclopaedia Britannica, 2014b).

gie meer onttrokken kan worden, en verplaatsing geen energie meer kost. Het gevolg is, dat het metaal geen elektrische weerstand meer heeft, ofwel supergeleidend is geworden.

Een andere belangrijke ordening is de indeling in deeltjes en anti-deeltjes. Met de meeste deeltjes correspondeert een anti-deeltje, dat dezelfde spin en massa heeft als het originele deeltje, maar dat qua elektrische lading en nog een aantal andere eigenschappen tegengesteld is aan het originele deeltje (2014, p. 47). Het bestaan van dergelijke anti-deeltjes werd het eerst ontdekt bij het elektron. Dirac leidde in 1931 uit zijn wiskundige vergelijkingen voor het elektron af, dat er een anti-deeltje moest bestaan met dezelfde massa als het elektron, maar met een positieve lading. In eerste instantie kon hij zelf niet geloven dat dit hypothetische deeltje ook echt zou bestaan. Toen andere onderzoekers echter aantoonde dat het wel degelijk bestond en het de naam 'positron' gaven reageerde hij met de uitroep "Mijn vergelijking is slimmer dan de ontdekker ervan" (2014, p. 198). Later ontdekte men dat ook bij de meeste andere deeltjes een anti-deeltje hoort. Er zijn enkele uitzonderingen van deeltjes die geen anti-deeltje hebben, zoals het foton.

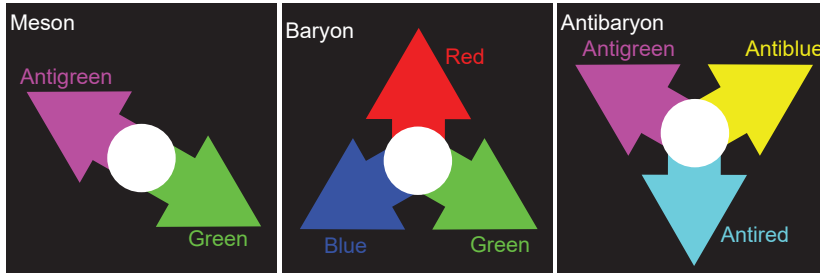
Wanneer een deeltje zijn antideeltje ontmoet dan zullen die elkaar 'annihileren' (2014, p. 74). De rustmassa's van de deeltjes wordt daarbij in energie omgezet volgens $E=mc^2$, ofwel in straling die belichaamd is in fotonen. Anti-deeltjes worden gecreëerd bij botsingen, of bij het uiteenvallen van grotere deeltjes (2014, p. 202). Meestal is aan hen daarna slechts een kort bestaan gegund omdat zij na korte tijd een 'spiegelbeeld' ontmoeten en dan weer ge-annihileerd worden. Hun korte levensduur is een belangrijke reden voor hun late ontdekking.

Het is nog een raadsel voor de fysica waarom in de kosmos de overgrote meerderheid van alle bekende materie 'gewone' materie is. Waarom bestaan er bijvoorbeeld geen 'anti-sterren'? Deze zijn nooit gevonden, en het ziet er ook niet naar uit dat zij er ooit geweest zijn. Wanneer zij immers wel zouden hebben bestaan, dan zouden sommige anti-sterren ooit een 'gewone' ster ontmoet hebben en zouden ooit twee sterren elkaar ge-annihileerd hebben. Daarbij moet echter hevige annihilatie-straling zijn ontstaan, waarvan astronomen de resten ook nu nog zouden moeten vinden. Daarvan is echter geen sprake (2014, p. 64).

Tenslotte noem ik hier de vanzelfsprekende indeling tussen elementaire deeltjes en samengestelde deeltjes. Allerlei deeltjes die aan het begin van de 20^e eeuw nog als 'elementair' golden bleken later toch weer uit tal van kleinere deeltjes te bestaan. Een voorbeeld daarvan zijn de kerndeeltjes protonen en neutronen, waarvan bij botsingen bleek dat die ook weer samengesteld zijn uit nog elementairdere deeltjes, waarvan de quarks de bekendste zijn. 't Hooft vergelijkt protonen daarom met vleugelpiano's. Zij blijken een ingewikkelde interne structuur te hebben van quark-tripletten, die weer omgeven zijn door een zee van quarks, anti-quarks en gluonen. Daarom worden botsings-experimen-

ten met protonen wel vergeleken met het op hoge snelheid laten botsen van twee vleugelpiano's en dan luisteren naar het geluid dat dit oplevert (2014, p. 267).

Figuur 29



Bij de quarks kan nog toegelicht worden dat deze ook een 'lading' bleken te hebben. Een lading die echter niet, zoals elektrische lading, op binaire wijze te verdelen is tussen + en -, maar een lading in *drie* soorten. Om hier een naam aan te geven vergeleek men deze drie soorten van lading met de primaire kleuren *rood*, *groen* en *blauw*. Anti-quarks hebben de 'kleuren' anti-rood (cyaan), anti-groen (magenta) of anti-blauw (geel). Quarks vormen altijd kleurloze gehelen. Dat kan een triplet zijn dat bestaat uit een rode, een groene en een blauwe quark (of uit de drie anti-kleuren), of een duet dat bestaat uit een gekleurde quark en zijn anti-quark (die elkaar niet annihileren) (2014, pp. 120-133)¹⁵³.

In het hier volgende overzicht, ontleend aan 't Hooft (2014, p. 160), zijn alleen de deeltjes opgenomen die in 2012 als 'elementair' golden. Alle andere bekende deeltjes zijn uit deze elementaire deeltjes opgebouwd. Voor de eenvoud zijn ook alle anti-deeltjes weggelaten (met uitzondering van W^+ en W^- die elkaars antideeltje zijn).

¹⁵³ De bijgaande figuur is ontleend aan: "Hadron colors" by Hadron_colors.png: Army1987derivative work: TimothyRias (talk).

Figuur 30

<i>naam</i>	<i>symbool</i>	<i>massa (MeV)</i>	<i>lading</i>	N_c	
<i>spin 1, ijkfotonen:</i>					
foton	γ	0	0	1	
vector bosonen	Z^0	91.188	0	1	
van de zwakke	W^+	80.385	+	1	
kracht	W^-	80.385	-	1	
gluon	g	0	0	8	
<i>spin 0, Higgs:</i>					
	H^0	126.000	0	1	
<i>spin 1/2, quarks:</i>					
I {	up	u	2,3	$\frac{2}{3}$	3
	down	d	4,8	$-\frac{1}{3}$	3
I {	charm	c	1275	$\frac{2}{3}$	3
	strange	s	95	$-\frac{1}{3}$	3
I {	top	t	173.500	$\frac{2}{3}$	3
	bottom	b	4400	$-\frac{1}{3}$	3
<i>spin 1/2, leptonen:</i>					
I {	e -neutrino	ν_e	~ 0	0	1
	elektron	e	0,51099893	-	1
I {	μ -neutrino	ν_μ	$\sim 8 \times 10^{-9}$	0	1
	muon	μ	105.658371	-	1
I {	τ -neutrino	ν_τ	$\sim 4 \times 10^{-8}$	0	1
	tau	τ	1777	-	1
<i>spin 2, graviton:</i>					
		0	0	1	

Verdere toelichting:

De kolom onder 'lading' geeft de elektrische lading van een deeltje aan.

De kolom onder N_c geeft aan hoeveel verschillende 'kleur-componenten' een deeltje kan hebben. $N_c=1$ geeft aan dat het deeltje 'kleurloos' is.

De massa wordt (zoals gebruikelijk in dit verband) uitgedrukt in de energiemaat Mega-elektronVolt (MeV). Vanwege de equivalentie van massa en energie is dit adequaat.

Opmerkelijk is de symmetrie die blijkt in de twee gedeeltes waarin deeltjes met spin $\frac{1}{2}$ zijn opgenomen. Dergelijke symmetrieën volgen logisch uit de achterliggende mathematische modellen die de eigenschappen en het gedrag van deze deeltjes beschrijven.

Bij de neutrino's is met het \sim teken aangegeven dat de waarden van hun massa's in 2012 nog onzeker waren.

Het bestaan van het graviton is nog niet experimenteel aangetoond. De weergegeven eigenschappen volgen uit de theorie. Dit deeltje zou de drager moeten zijn van het zwaartekrachtsveld.

3.c Krachten

In het kader van de relativiteitstheorie werd beschreven, dat deze theorie een kracht, die klassiek beschouwd werd als 'kracht-op-afstand', nu benadert als kenmerk van de ruimtetijd. Dit werd met name voor de zwaartekracht (gravitatiekracht) door Einstein en zijn navolgers zo uitgewerkt (pagina 392-396).

De kwantummechanica benadert het fenomeen kracht echter met een ander 'vreemd verhaal'. Wanneer deeltjes een kracht op elkaar uitoefenen, dan verklaart de kwantummechanica die krachtwerking met een speciaal soort deeltje dat als een 'boodschapper' heen en weer reist tussen de deeltjes die de kracht ondervinden. Zo'n speciaal soort deeltje heet een 'krachtvoerend deeltje'. Ook bij dit vreemde verhaal moet men in aanmerking nemen dat het een gebrekkige vertaling is van een geavanceerde abstracte wiskunde die de krachtwerking nauwkeurig beschrijft (2014, pp. 47-48).

Hierna zal ik nu kort de krachten noemen die de kwantummechanica onderscheidt, en daarbij aangeven welk deeltje, uit het bovenstaande overzicht, in dat geval het 'krachtvoerende deeltje' is.

De elektromagnetische kracht kan als eerste genoemd worden. Hoewel al heel lang bekend, heeft deze kracht toch wonderlijke eigenschappen. Het aspect van deze kracht dat wij 'elektrische kracht' noemen werkt in op deeltjes die een elektrische lading hebben; en het aspect dat wij 'magnetische kracht' noemen werkt in op elektrische geladen deeltjes die ten opzichte van elkaar snel bewegen. Het krachtvoerende deeltje is in dit geval het al langer bekende *foton* uit de bovenstaande tabel (2014, p. 37).

De zwaartekracht is ook een oude bekende. Deze grijpt aan op alle deeltjes die massa hebben (zoals we zagen ook op fotonen, ook al hebben die hun massa uitsluitend aan hun snelheid te danken, zie pagina 395). Volgens de kwantummechanica moet ook deze kracht overgebracht worden door een krachtvoerend deeltje, en men heeft dit al de naam 'graviton' gegeven. Uit de theorie kon men ook al de eigenschappen afleiden die dit deeltje zou moeten hebben. Het is echter nog niet gelukt om een experiment te bedenken en uit te voeren dat dit deeltje zou kunnen aantonen. De moeilijkheid hiervan hangt nauw samen met de omstandigheid dat de theoretische natuurkunde er nog niet in geslaagd is om een toetsbaar model te ontwikkelen dat de wetten van de zwaartekracht integreert met de wetten van de kwantummechanica (2014, p. 38).

De 'sterke kracht' is een nieuw lid van de krachten-familie. Het is de kracht die verklaart hoe het mogelijk is dat zoveel atoomkernen stabiel zijn ondanks de elektrische afstotingskracht tussen de positief geladen protonen. Er moet dus een kracht zijn die in de atoomkern de elektrische afstoting (die op die korte afstand zeer sterk is) kan compenseren met een minstens even sterke aantrekkingskracht. De kenmerken van deze kracht stelden de onderzoekers echter voor moeilijk oplosbare raadsels. Omstreeks 1972 kreeg men pas een beter inzicht in deze kracht, toen men meer ging begrijpen van de ingewikkelde interne structuren van protonen en neutronen. Deze kerndeeltjes bleken zelf weer opgebouwd uit sub-deeltjes die men 'hadronen' noemde, en deze hadronen bleken weer opgebouwd te zijn uit sub-sub-deeltjes die men 'quarks' noemde (zie overzicht). De sterke kracht die atoomkernen bijeenhoudt bleek toen een uitvloeisel te zijn van een nog sterkere kracht die quarks aan elkaar bindt. Het krachtvoerende deeltje van die laatste kracht is het gluon. Bij dit gluon is in het overzicht het kleurgetal 8 opgenomen omdat de gluonen zelf ook kleurladingen hebben die kunnen bestaan uit 8 verschillende combinaties van de quark-kleuren. Een merkwaardige eigenschap van de sterke kracht die het gluon belichaamt is, dat deze kracht sterker wordt naar mate de afstand tussen de quarks groter wordt, zoals een elastiek. Het gluon-elastiek kan breken, maar als het breekt dan zitten er toch weer quarks aan ieder uiteinde. Losse quarks komen niet voor (2014, pp. 54, 120-133).

Tenslotte moet hier de 'zwakke kracht' genoemd worden. Deze kracht is onder andere verantwoordelijk voor het uiteenvallen van deeltjes of atoomkernen onder uitzending van een elektron en een neutrino¹⁵⁴. Men ontdekte dat bij deze processen een nieuwe kracht aan het werk was, die niet te herleiden was tot één van de drie reeds bekende krachten. In vergelijking met de 'sterke kracht' was dit een veel zwakkere kracht, en bovendien had deze kracht een uiterst kleine reikwijdte (2014, p. 46).

Het ontwikkelen van een goed model voor de werking van deze kracht bleek een moeilijke opgave. Eén van de ingrediënten van de oplossing was uiteindelijk een in 1954 door Yang en Mills gepubliceerd wiskundig model van een denkbeeldige natuurkracht. Dit model was bedoeld als antwoord op enkele theoretische vragen¹⁵⁵. Yang en Mills bedachten een fictieve wereld waarin een kracht zou heersen die deels te vergelijken is met de elektromagnetische kracht. Het verschil met de gewone elektromagnetische kracht zat hem in hun aanname dat er in die wereld drie verschillende soorten van 'elektromagnetische' velden zouden bestaan. Die drie verschillende soorten van velden zouden dan moeten corresponderen met drie verschillende soorten 'fotonen'. Van die drie soorten zouden er twee elektrisch geladen moeten zijn, één positief en één negatief, en

¹⁵⁴ In het kader van mijn bespreking van Sizoo kwamen we dit type van uiteenvallen al tegen. In 1940 waren deze processen al bekend, maar met betrekking tot de zoekgeraakte energie was men nog niet verder dan de 'neutrino-hypothese' (pagina 443).

¹⁵⁵ Deze vragen hadden betrekking op het kenmerk 'ijkvariantie' (2014, pp. 86-88).

de derde soort zou ongeladen moeten zijn, net als het gewone foton. Maar, gedurende een tiental jaren kon men geen experimenteel aantoonbare kracht vinden die aan het Yang-Mills model beantwoordde, en werd het terzijde gelegd als een mooi maar onrealistisch model (2014, pp. 86-90).

Deze situatie veranderde rond 1964 toen een aantal onderzoekers, die een model voor de zwakke kracht wilden ontwikkelen, het idee van Yang en Mills combineerden met een ander idee. Dit andere idee stelde hen in staat om een belangrijke kloof tussen de denkbeeldige Yang-Mills wereld en de realiteit van de zwakke kracht te overbruggen. Die kloof werd gevormd door het verschil, dat de drievoudige 'elektromagnetische kracht', die Yang en Mills als uitgangspunt namen, een zeer grote reikwijdte had, terwijl de zwakke kracht juist een zeer kleine reikwijdte heeft. Onderzoekers zoals Brout, Englert, Kibble en Higgs bedachten echter dat er wel een voorbeeld was waarbij de reële elektromagnetische kracht een korte reikwijdte krijgt. Dat voorbeeld is het fenomeen van supergeleiding (zie pagina 457). In de omgeving van een supergeleidend metaal bestaat het elektromagnetische veld nog wel, maar het krijgt daar dan een korte reikwijdte. Het nieuwe idee kwam neer op:

- Stel nu eens dat er er een bepaalde soort van deeltjes zou zijn die zich, bij de lage temperatuur die in de ruimte heerst, collectief in hun laagste energietoestand zouden bevinden, net zoals de elektronparen bij supergeleiding.
- Dan zou, in die omgeving, een Yang-Mills veld wél een korte reikwijdte hebben, en misschien een goede beschrijving bieden van de bekende werkingen van de zwakke kracht!

Peter Higgs publiceerde dit idee in 1964 in twee papers. Aanvankelijk werd zijn tweede paper geweigerd door het tijdschrift waarbij het had ingediend. Toen hij dit paper reviseerde voegde hij er uitdrukkelijk aan toe dat dit model het bestaan van een nog onbekend deeltje voorspelde, en kon hij ook voorspellen dat dit deeltje gekenmerkt zou moeten zijn door spin 0 en een vrij zware massa (zie overzicht). Met die toevoeging was het paper kennelijk wel interessant genoeg om gepubliceerd te worden. Toen deze theorie later succesvol bleek te zijn kreeg het idee de naam 'Brout-Englert-Higgs-(Kibble)-mechanisme' (BEH-mechanisme) en het door Higgs voorspelde deeltje kreeg de naam 'Higgs-deeltje' (2014, pp. 97-102, 263-264; Gregersen, 2014).

De algemene acceptatie van het idee om de zwakke kracht op deze manier te verklaren liet echter nog lang op zich wachten. Om verschillende redenen werd de theorie niet mooi gevonden, en één van de meest aanstootgevende aspecten was de aanname dat de lege ruimte tot de nok toe gevuld zou moeten zijn met een veld en met zware deeltjes, als de kwanta van dat veld, waar nog nooit iemand iets van gemerkt had. Wanneer dit werkelijk waar zou zijn, hoe is het dan mogelijk dat al die zware deeltjes hun aanwezigheid niet verraden door hun zwaartekrachtsveld (2014, pp. 102-106)¹⁵⁶?

¹⁵⁶ 't Hooft tekent hierbij aan dat er op deze vraag nog steeds geen antwoord is, terwijl ondertussen het BEH-mechanisme en het Higgsdeeltje algemeen geaccepteerd zijn (2014, p. 106).

Enkele onderzoekers, waaronder de Nederlanders Veltman en 't Hooft, zagen echter toch perspectief in het BEH-mechanisme, en zij wisten een aantal belangrijk theoretische problemen die aan het oorspronkelijke model kleefden overtuigend op te lossen. Het gevolg daarvan was dat deze theorie van de zwakke kracht een essentieel verbindend sluitstuk werd in het bouwwerk van het standaardmodel. Kort en zeer vereenvoudigd kan deze cruciale positie als volgt uitgelegd worden:

- Zoals ik hierboven noemde, heeft het Higgs-veld als effect dat Yang-Mills fotonen, die buiten dit veld een kracht met zeer grote reikwijdte belichamen, binnen dit veld een kracht met een kleine reikwijdte belichamen. Maar, daar komt het nog niet genoemde effect bij dat deze fotonen binnen het Higgsveld ook een rustmassa krijgen, die zij daarbuiten niet hebben. Zie het overzicht op pagina 459 e.v. De krachtvoerende deeltjes van de zwakke kracht zijn de W^+ , W^- en Z^0 deeltjes, en dat zijn fotonen die met een aanzienlijke rustmassa gezegend zijn!
- De complete theorie kwam er uiteindelijk op neer dat *alle* elementaire deeltjes die een rustmassa bezitten deze aan interactie met het Higgsveld te danken hebben (dus ook de quarks, de leptonen en het Higgsdeeltje zelf). Het verkrijgen van die rustmassa's zou dan kort gezegd als volgt gegaan moeten zijn: Kort na de 'big bang' was de kosmos in zijn geheel zeer heet en waren er alleen massaloze velden en deeltjes. Massaloze Higgs-deeltjes waren er ook al, maar in die grote hitte konden die niet 'condenseren' naar hun laagste energietoestand. Dat 'condenseren' kon pas na enige tijd beginnen toen de kosmos zich verder had uitgebreid en er grote gebieden ontstonden met een temperatuur die dicht genoeg bij het absolute nulpunt lag. Vanaf dat moment moeten het Higgsveld en de Higgsdeeltjes ontstaan zijn, zoals wij die nu (sinds 2012-2013) kennen. En, door interacties met dat Higgsveld hebben ook alle andere deeltjes hun rustmassa gekregen. Alleen het 'gewone' foton, het gluon en het graviton (als het bestaat) ondervinden geen invloed van dat veld, en die zijn daarom zonder rustmassa gebleven.
- Tenslotte bleek het Higgsveld nodig te zijn om een groot deel van de theorieën rond het standaardmodel berekenbaar te krijgen.

't Hooft formuleert daarom de situatie die in de 70er jaren ontstond als volgt: *"we moesten kiezen tussen een theorie met Higgsdeeltje, die later met verrassende nauwkeurigheid de waargenomen verschijnselen zou kunnen verklaren, of gewoon geen theorie"* (2014, pp. 107-119; Sutton, 2014).

De verklaringskracht van deze modellen en de sterke samenhang die ontstond met het gehele bouwwerk van modellen dat men 'standaardmodel' ging noemen, maakten dit geheel dermate overtuigend en geloofwaardig dat vrijwel de hele fysische gemeenschap ervan overtuigd raakte dat dit geheel *moest* kloppen. 't Hooft en Veltman ontvingen voor hun bijdrage aan dat geheel in 1999 de Nobelprijs, ondanks het feit dat het ultieme bewijs, het experimenteel aantonen van het Higgsdeeltje, nog niet geleverd was. Pas in 2012 vonden fysici in het CERN (Geneve) de eerste experimentele aanwijzingen voor dit bestaan, en in maart 2013 werd het definitief bevestigd. In datzelfde jaar ontvingen ook Higgs en Englert hun Nobelprijs (2014, pp. 263-274; Gregersen, 2014).

3.d Bereik en beperkingen

Het standaardmodel fungeert tot op heden als het systematisch sterk samenhangende geheel van mathematische beschrijvingen van alle nu bekende deeltjes en de krachten daartussen. *"Tienduizenden experimenten, in laboratoria over de gehele wereld hebben (op enkele uitzonderingen na ...) niets aangetoond dat niet in het standaardmodel past ... Alle bekende fysica vloeit dus voort uit het standaardmodel"* (2014, p. 161).

Dat wil echter zeker niet zeggen dat de fysica nu 'af' is. In tegendeel, er blijven meer dan genoeg uitdagende problemen over. Eén van de meest voor de hand liggende uitdagingen is het smeden van samenhang tussen het standaardmodel en de theorie van de zwaartekracht uit de algemene relativiteitstheorie. Omdat deze samenhang er nog niet is, is ook het plaatsen van een graviton in het standaardmodel, zoals 't Hooft dat wel doet, nog steeds omstreden.

Een andere belangrijke uitdaging is het verklaren van de 'donkere energie' en de 'donkere materie' die in de kosmos aanwezig lijken te zijn. Uit de manier waarop onze kosmos evolueert qua vorm en grootte leiden fysici af wat ongeveer de totale hoeveelheid massa en energie moet zijn die de kosmos bevat. Wanneer 't Hooft die waarde vergelijkt met de hoeveelheid bekende massa en energie die onder de beschrijving van het standaardmodel vallen, dan komt hij tot een onthutsende conclusie: *"Het door ons deeltjesfysici na lang ploeteren afgeleide 'standaardmodel' beschrijft dus slechts 4,9% van alle materie in ons heelal. De rest is nog mysterie."* (2014, p. 253).

4 GEHANDHAAFDE MECHANICA

Aan het einde van de paragraaf over kwantummechanica kwam ik tot de conclusie, dat het traditionele concept van observatie-onafhankelijke mechanica alleen gehandhaafd kan worden op het niveau van een hybride kwantumsystemen observerend systeem (*QsOs*, zie pagina's 448-454).

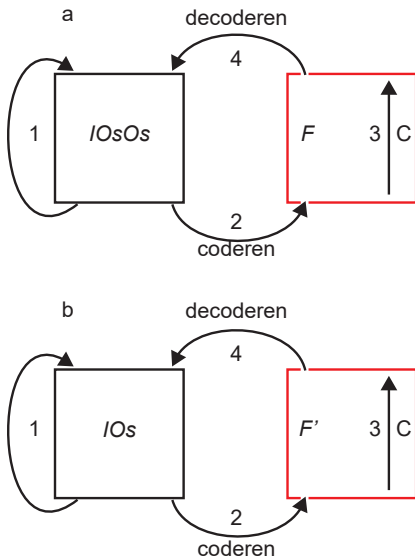
Nu, na mijn schets van de ontwikkeling van het standaardmodel, ligt het voor de hand dat deze conclusie ook geldt voor deze recente tak van fysica. Het gaat hier immers over een tak die voortbouwt op de kwantummechanica, en die eveneens werelden ontsluit die niet voor direct zintuiglijke observatie toegankelijk zijn.

De kwantummechanica maakte de observatie-afhankelijkheid van modelvorming onweerlegbaar duidelijk, doordat verschillende observatie-inrichtingen bleken te correleren met ingrijpende verschillen in object-kenmerken. Maar, naast de kwantummechanica zijn er nog vele andere takken van fysica te noemen die onderzoek doen op terreinen die niet voor directe zintuiglijke observatie toegankelijk zijn. De relativiteitstheorie vertegenwoordigde al een voorbeeld daarvan. Haar beschrijving liep ook al uit op de conclusie dat wij de realiteit, voor welks verklaring wij deze theorie nodig hebben, alleen kennen via de bemiddeling door geavanceerde instrumenten en geavanceerde

wiskunde (pagina 405). Dit kenmerk geldt voor nog veel meer takken van moderne fysica.

Wanneer ik deze ontwikkeling nu generaliseer kan ik stellen dat de fysica zich tegenwoordig voor een groot deel richt op *slechts indirect observeerbare systemen*. De generalisering van een kwantumsystemen observerend systeem kan ik daarom benoemen als een *slechts indirect observeerbare systemen observerend systeem (IOsOs)*. De model-schema's op pagina 434 (Figuur 27) en pagina 448 (Figuur 28) gaan er dan uitzien zoals afgebeeld is in figuur 31.

Figuur 31



De eerste vraag die ik nu bij deze schema's moet stellen luidt: *geldt nu ook in het algemeen dat alleen een IOsOs als een mechanisme kan worden beschouwd, en dat dit niet het geval is bij een IOs?*

Mijn antwoord is: bij kwantumsystemen is het evident dat zij observatie-afhankelijk zijn, en bij andere slechts indirect observeerbare systemen is het op zijn minst onzeker in hoeverre kenmerken van het object afhankelijk zijn van de gebruikte observatiebemiddelingen. Het ontbreekt immers aan mogelijkheden om deze objecten buiten een instrumentarium om direct te observeren en zodoende na te gaan welke kenmerken van het geobserveerde object al dan niet van de observatiebemiddelingen afhankelijk zijn. Mijn conclusie is daarom: *in het algemene geval van een IOs is het op zijn minst onzeker in hoeverre de kenmerken van het geobserveerde object observatie-afhankelijk zijn*. En dus kan ook in het algemene geval van een IOs *het onderzoeken van een systeem als een objectief mechanisme alleen met zekerheid gehandhaafd worden op het macro-fysische niveau van een direct observeerbaar en herhaalbaar experiment, ofwel een IOsOs*.

Als afronding van dit hoofdstuk wil ik nu nog eenmaal nagaan hoe de traditionele kenmerken van een mechanisme gehandhaafd worden op het niveau van een experiment dat observatie impliceert van een slechts indirect observeerbaar systeem (Figuur 31a). Ik doe dit opnieuw aan de hand van de samenvatting van de traditionele eisen voor direct observeerbare natuurlijke systemen, die op pagina 404 is weergegeven.

1. De kern van model F is een formele calculus C die 'semantisch blind' uitgevoerd kan worden. Voor de volledigheid kan hieraan toegevoegd worden dat deze eis impliceert dat model F een samenhang beschrijft, die het karakter van een invariantie heeft, en die effectief (= recursief) berekenbaar is.

Naast deze kern bevat F eenduidige voorschriften:

- + voor de eisen waaraan een experimentopstelling moet voldoen om de te onderzoeken kenmerken van een niet-direct-observeerbaar object herhaalbaar te kunnen observeren,
 - + voor het vertalen van indirect observeerbare kenmerken van het object van onderzoek naar directe observeerbare kenmerken van de experimentopstelling, en vice versa.
2. De observaties, die dienen als input voor F , en de observaties die F als output oplevert, moeten herhaalbare observaties zijn van observatie-onafhankelijke primaire kenmerken van de experimentopstelling (c.q. het $IOsOs$).
 3. De door F gegenereerde output moet nauwkeurig overeenstemmen met observaties aan $IOsOs$, die door verschillende observatoren onafhankelijk van elkaar zijn gedaan (ook indien deze output een kansverdeling is).
 4. Toekomstige toestanden van $IOsOs$ moeten uitsluitend door voorafgaande toestanden bepaald zijn (het principe van recursieve gevolgijkheid, dat functionaliteit en finaliteit uitsluit, zie pagina's 339, 343 en 357).
 5. Toestandsveranderingen van $IOsOs$ als geheel moeten afgeleid kunnen worden uit toestandsveranderingen van de deelsystemen waaruit $IOsOs$ is opgebouwd, c.q. uit de deelmodellen waaruit model F als geheel bestaat (het principe van synthetische gevolgijkheid, zie pagina's 343 en 357).

Ook in het algemene geval van een $IOsOs$ wordt de fysica als '*mechanisme-wetenschap*' (pagina 100) gered, door terug te vallen op het macro-fysische machine-mechanisme systeem van de experiment-opstelling (pagina 453).

HOOFDSTUK 14

Fysica en waarheid

Ook de inhoud van dit hoofdstuk kan samengevat worden als het volgen van drie 'rode draden'. Twee van deze drie rode draden zijn voortzettingen van rode draden uit het vorige hoofdstuk, en één van hen komt in de plaats van een rode draad die in het vorige hoofdstuk zijn eindpunt bereikte.

De eerste rode draad van het vorige hoofdstuk was de vraag, of de ingrijpende ontwikkelingen, die zich sinds het begin van de 20e eeuw voltrokken, ook een einde maakten aan de traditionele 'identiteit' van fysische wetenschap als '*mechanisme wetenschap*'. In de laatste paragraaf (§ 4) van het vorige hoofdstuk werd de conclusie bereikt, dat deze 'identiteit' werd gered, omdat haar criteria en kenmerken nog steeds gehandhaafd kunnen worden op het macro-fysische niveau van de experiment-opstelling. Hiermee werd het eindpunt van deze rode draad bereikt.

Een rode draad die in dit hoofdstuk verder gevolgd zal worden, is de vraag naar de invloed die van de fysische wetenschap kan uitgaan op natuur-, mens- en wereldbeelden.

Het volgen van deze draad liep in het vorige hoofdstuk uit op de fysica-interpretatie van Sizoo, die radicaal afscheid nam van de 17^e-eeuwse essentialistische opvattingen. In het huidige hoofdstuk zal deze rode draad verder gevolgd worden. Bij deze verdere verkenning zal vooral de chemicus-filosoof Michael Polanyi (in § 5) de gids zijn. Volgens het mensbeeld van Polanyi onderscheidt de mens zich door het ontwikkelen van complexe interfaces (symbolische taal en instrumenten). Deze draad volgend zal dit hoofdstuk in § 6 uitlopen op een verkenning van de winst die taal als interface oplevert, met name als interface bij fysisch onderzoek, en als interface bij dialoog.

De tweede rode draad die in dit hoofdstuk gevolgd zal worden betreft de kennispretenties van fysische wetenschap. In het vorige hoofdstuk kwam ik ook langs deze draad uit bij Sizoo, wiens opvatting het midden hield tussen objectivisme en subjectivisme. In het huidige hoofdstuk zal deze rode draad verder vervolgd worden. Latere auteurs, zoals Toulmin (§ 2), de late Wittgenstein (§ 3), en de hierboven genoemde Polanyi (§ 5) verkenden elk op eigen wijze de middenweg tussen subjectivisme en objectivisme.

De derde rode draad betreft de wijze waarop vorming en ondersteuning zich in de onderwijspraktijk kunnen voordoen. Uitgangspunt is een vraag van leerlingen "*is het werkelijk waar dat ...?*" (Vandaar de titel van dit hoofdstuk). 'Filosoferen over natuurkunde' blijkt inspirerende ervaringen op te kunnen leveren, en zodoende vorming te kunnen ondersteunen. Met deze rode draad begint en eindigt het huidige hoofdstuk.

1 MET LEERLINGEN FILOSOFEREN OVER NATUURKUNDE

Toen ik leraar natuurkunde was, en in mijn lessen in de havo-bovenbouw het atoommodel van Rutherford (zie pagina 410) had behandeld, kwam één van de leerlingen met de volgende vraag:

Is het werkelijk waar dat alles wat we kunnen zien en vastpakken voor het allergrootste deel uit lege ruimte bestaat, of is dat alleen maar een fantasie van een stelletje maffe geleerden?

Omdat ik in die tijd filosofie studeerde naast mijn leraarsbaan, en eerder al geïnspireerd was door de visie op natuurkunde die Sizoo uitdroeg, viel deze vraag bij mij in goede aarde. Toen ik dan ook direct het lesplan vergat en spontaan op de vraag reageerde ontstond er een zeer geanimeerd gesprek. Mijn reacties riepen weer nieuwe vragen op, en aan het eind van het lesuur waren we nog lang niet klaar. De leerlingen spraken uit dat zij zo'n gesprek belangrijk vonden, en vroegen mij om een vervolg. Ik beloofde om daarover na te denken. In de volgende les kwam ik erop terug en besprak met de klas het praktische probleem waarvan ik mij ondertussen bewust geworden was. In de bovenbouw van de havo was het examenvak natuurkunde krap bemeten in uren, en het was daarom al een hele toer om alle verplichte stof goed behandeld te krijgen, en om ook de in dit vak niet al te sterke leerlingen een eerlijke kans van slagen voor het examen te geven. Wanneer een aantal uren 'filosoferen over natuurkunde' in mindering zou komen op de tijdsbesteding aan de verplichte stof, dan zou dit waarschijnlijk ten koste gaan van de slaagkans van een aantal leerlingen. Toen ik dit probleem met de klas besprak kwamen leerlingen met het voorstel om extra uren buiten de normale schooltijd te plannen, en er zo voor te zorgen dat er geen lessen verloren zouden gaan voor de verplichte stof. Alle leerlingen uit de klas waren het met dit voorstel eens, en toen kon ik als leraar uiteraard ook niet achterblijven. Het voorstel werd met de schoolleiding besproken, goedgekeurd, en de extra lessen kwamen er. Op de havo-afdeling van mijn school werden deze extra lessen 'filosoferen over natuurkunde' vervolgens een traditie die een aantal jaren bleef bestaan. In de ruimte van die extra lessen ontstond ook de mogelijkheid om over diepergaande vragen te praten zoals:

Is het echt waar dat natuurkunde en scheikunde beweren dat vriendschap, liefde, muziek en al die andere dingen die het leven mooi en zinvol maken alleen maar een kwestie zijn van stoffes en reacties, en dat het leven dus in werkelijkheid geen enkele zin heeft?

De ervaringen met deze havo-leerlingen hebben mij ervan overtuigd dat vele tieners, als men de juiste snaar weet te raken, zeer geïnteresseerd zijn in dergelijke vragen. De mate waarin zij zich in deze gesprekken lieten inspireren, en elkaar en mij als leraar

inspireerden overtuigde mij ervan dat dergelijke gesprekken van belang waren voor hun vorming (en natuurlijk ook voor mijn vorming)¹⁵⁷.

Dat het schoolvak natuurkunde, in tegenstelling tot wiskunde, bij leerlingen dergelijke waarheidsvragen kan oproepen is begrijpelijk. Zoals in hoofdstuk 4 duidelijk is gemaakt, profileert de wiskunde zich (in grote meerderheid) vanaf de 20^e eeuw als een discipline die zich beperkt tot de ontwikkeling van formeel-logische 'spelvormen' en de juiste beoefening daarvan. Wanneer leerlingen op school, met name in het voortgezet onderwijs, vragen naar de waarheid van wiskundige beweringen, dan kan de leraar reageren met het antwoord dat er in de wiskunde helemaal geen waarheid op het spel staat. In het geval van natuurkunde ligt dit anders. Daar kan een leraar uitleggen dat allerlei processen in de natuur zich volgens natuurwetten gedragen, en dat natuurkunde een vak is dat probeert om die wetten nauwkeurig en naar waarheid te beschrijven. Kortom: een bepaalde waarheidsclaim is inherent aan het vak natuurkunde, en die claim kan – terecht- bij leerlingen allerlei vragen oproepen.

Wanneer een leraar natuurkunde zich niet afsluit voor de waarheidsvragen die zijn vak bij leerlingen kan oproepen, maar het voor hun vorming van belang vindt om dergelijke vragen toe te laten en op te roepen, dan komt het aan op zijn eigen vorming in zelfstandig nadenken over dergelijke vragen. Immers, zoals ik in hoofdstuk 2 heb betoogd, wanneer men leerlingen wil stimuleren om zich te ontwikkelen tot zelfstandig denkende personen, in plaats van tot onkritische napraters, dan hebben zij volwassenen nodig die authentieke voorbeelden van zelfstandig denken laten zien. Daarom willen leerlingen, die de smaak van vorming te pakken hebben, ook aan hun natuurkundeleraar merken dat die zelf heeft nagedacht over de waarheidsvragen die zijn vak oproept.

Dit zelf nadenken is welbeschouwd al nodig omdat er in de fysische gemeenschap en -traditie grote verschillen bestaan in het denken over fysica en waarheid. In het gedeelte over Sizoo heb ik beschreven hoe deze fysicus die verschillen in kaart bracht door hen te plaatsen in een schaal die loopt van extreem objectivisme naar extreem subjectivisme (pagina 436-448). Daarbij werd ook duidelijk dat deze inschaling al berustte op zijn keuze voor een positie die deze extremen vermijdt. Sizoo maakte bovendien duidelijk dat

¹⁵⁷ De school waar ik toen als leraar werkte (in de 60er en 70er jaren) stond ook in het algemeen positief tegenover een inbreng vanuit de filosofie. Naast de hier genoemde extra uren 'filosofen over natuurkunde' kreeg ik de kans om in de 'vrije ruimte' van de bovenbouw havo en bovenbouw vwo filosofie als keuzevak aan te bieden. Na enkele jaren evolueerde het keuzevak filosofie, dankzij een boeiende samenwerking met docenten 'expressie door woord en gebaar', tot het keuzevak 'filosofie en expressie', dat een achttal jaren heeft gefunctioneerd. Toen na een aantal jaren de schoolleiding het niet langer opportuun achtte om filosofie aan havo-leerlingen als keuzevak aan te bieden, nam een groep havo-leerlingen het initiatief om filosofielessen buiten schoolverband te organiseren.

zijn 'fysische' positiekeuze nauw verweven was met zijn meer omvattende keuzes voor een specifieke levenshouding en levensbeschouwing. De ontmoeting met deze leermeester, die liet zien dat hij de lastige worsteling met waarheidsvragen niet uit de weg ging, en die ook niet alles 'in het midden liet' maar kleur bekende, heeft voor mijn eigen vorming veel betekend. Zijn voorbeeld versterkte mijn verlangen naar meer van dergelijke fascinerende gedachten en gesprekken, en naar het leren om aan die gedachten en gesprekken deel te nemen als iemand die geen naprater is maar die zélf heeft nagedacht. Deze honger naar meer was één van mijn belangrijkste motieven om filosofie te gaan studeren. Die studie bracht mij inderdaad vele inspirerende ontmoetingen, en daarbij kwam ik ook op het spoor van denkers die lijnen van Sizoo's denken verder hadden doorgetrokken en uitgewerkt. Achteraf gezien had Sizoo een verfijnde intuïtie voor denkbeelden met toekomst, en was hij zijn tijd vooruit.

In het vervolg van deze paragraaf wil ik nu eerst, aan de hand van twee andere denkers, laten zien hoe enkele lijnen van Sizoo's denken verder uitgewerkt kunnen worden. Daarna zal ik, als oefening voor mijzelf, uitwerken hoe ik dan, op grond daarvan, op de eerste leerlingvraag zou kunnen reageren.

Het spreekt vanzelf dat mijn gebruik en verwerking van ideeën van anderen onvermijdelijk een persoonlijk karakter zal dragen, als resultante van mijn eigen vormingsproces. Daarom is het ook mijn bedoeling om pedagogische leiders te inspireren om op hun beurt zelf na te denken over de waarheid die vakken zoals natuurkunde en scheikunde te bieden hebben, en over de rollen die fysische waarheid kan vervullen in wisselwerking met 'grotere' levensbeschouwelijke en maatschappelijke waarheidsvragen. Uiteindelijk gaat het mij erom dat leerlingen, in een vorming ondersteunende school, geïnspireerde pedagogische leiders ontmoeten. Leiders, die hen aanmoedigen om vragen te stellen, die op hun vragen ingaan, en die hen inspireren om vorm te geven aan hun eigen antwoorden.

2 TOULMIN: HET MODEL ALS KAART

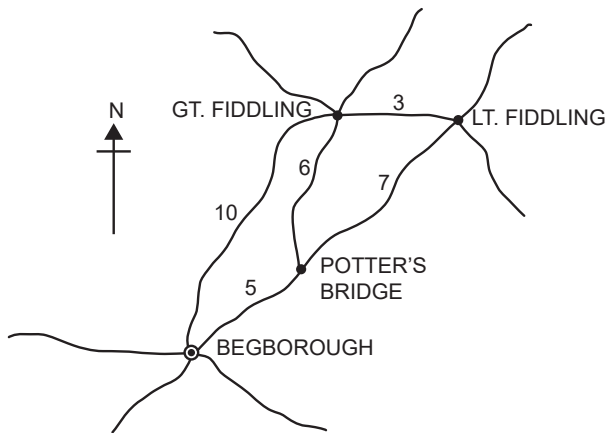
Om zijn standpunt duidelijk te maken, dat een fysisch model zowel op subjectieve als op objectieve aandelen berust, gebruikte Sizoo in 1940 al de metafoor van de beschrijving van een landschap. In 1953 publiceerde Stephen Toulmin de eerste uitgave van zijn *Philosophy of Science*, waarin een uitvoerig hoofdstuk geheel gewijd is aan de metafoor van het fysische model als kaart (1967, pp. 94-125). Uit dit boek blijkt dat Toulmin deze metafoor beschouwt als een adequaat hulpmiddel om –net als Sizoo¹⁵⁸– duidelijk te maken dat fysische modellen op een geslaagde mengeling van subjectieve en objectieve aandelen berusten. Omdat Toulmins uitwerking van deze metafoor mij ook bruikbaar

¹⁵⁸ Vermoedelijk geheel onafhankelijk van elkaar.

lijkt om belangrijke kenmerken van fysische waarheid aan leerlingen duidelijk te maken volgt nu een samenvatting die ontleend is aan de uitgave van 1967.

Een eerste punt van overeenkomst tussen kaarten en modellen is het kenmerk dat beiden bruikbaar zijn als uitgangspunt voor deducties. Zo kan men uit het bijgaande kaartje, dat Toulmin als voorbeeld gebruikt, (1967, p. 96) allerlei routes afleiden om van de ene plaats naar de andere te komen, en daarbij eenvoudig berekenen welke afstand men zal moeten afleggen. En zo kan men uit de mechanica van Newton niet alleen afleiden met welke snelheid en onder welke hoek men een mortiergranaat moet afschieten om die op een gewenste plaats te laten neerkomen, als ook op welke hoogte een satelliet om de aarde moet draaien om een stationaire plaats aan de hemel in te nemen, et cetera, et cetera. In beide gevallen geldt ook, dat de feitelijke conclusies, die men uit een kaart of een model kan afleiden, in aantal verre de feitelijke gegevens overtreffen waarop de kaart of het model gebaseerd is. De landmeters, die de productie van een kaart voorbereiden, meten zuinig en strategisch op een beperkt aantal plaatsen afstanden op, totdat zij voldoende gegevens hebben om een kaart te kunnen maken; en zo verrichten ook natuurwetenschappers zuinig en strategisch hun metingen aan de systemen die zij onderzoeken, om vanuit die gegevens de 'inductieve stap' naar een model te kunnen zetten.

Figuur 32



Het kenmerk, dat zowel kaarten als modellen zoveel deducties mogelijk maken, is het gevolg van de manier waarop zowel kaarten als modellen gemaakt worden vanuit de gegevens waar zij op gebaseerd zijn. De makers volstaan in beide gevallen niet met een 'naakte' weergave van hun basisgegevens, maar plaatsen die in een *samenhang*. Het is deze samenhang die maakt dat er zoveel uit een kaart of model afgeleid kan worden. Wanneer de afgeleide resultaten, van een kaart of van een model, ons niet teleurstellen, maar bij herhaling blijken te kloppen, dan gaan we de samenhang in het beeld beschouwen als een 'ware', in de zin van betrouwbare, representatie van samenhang in het origi-

neel, en daarom ook als een goed hulpmiddel om in het betreffende gebied onze wegen te vinden.

Een volgende overeenkomst is het kenmerk dat noch een kaart, noch een model, voorschriften bevatten over de aard van het gebruik dat ervan gemaakt kan of mag worden. De gebruikers zijn geheel vrij om te bepalen welke feiten zij uit een kaart of uit een model willen afleiden, en op welke manier zij die kennis willen gebruiken. Toulmin formuleert dit als: zowel een kaart als een model zijn toepassingsneutraal (1967, p. 109).

Een andere treffende overeenkomst betreft de onontbeerlijke eigen bijdrage die zowel kaartenmakers als modellenbouwers moeten leveren om hun product tot stand te brengen. Kaartenmakers moeten een oriëntatie, een schaal, een tekensysteem, een projectiemethode, enzovoorts bedenken of kiezen om een kaart te kunnen maken. Zo moeten ook modellenbouwers hun concepten, symbolen, te gebruiken wiskunde, enzovoorts, bedenken of kiezen. Het uiteindelijke product is altijd een synthese van deze eigen bijdragen van de makers enerzijds, en van de gevonden of gemeten gegevens anderzijds. Toulmin vindt het belangrijk om te benadrukken dat dit ook niet anders kán. Het kenmerk, dat een kaart of een model mede gebaseerd is op keuzen en beslissingen van de makers, is onvermijdelijk. Wanneer we zeggen dat een kaart of model 'waar' is, dan bedoelen we ook niet dat er geen subjectieve bijdragen aan te pas gekomen zijn, maar alleen dat de feitelijke gegevens die we eruit afleiden steeds corresponderen ('kloppen') met waarnemingen van het origineel.

Een ander aspect van modelvorming, dat met behulp van de kaartenmetafoor goed geïllustreerd kan worden, zijn de verschillende graden van verfijning die modellen kunnen representeren. De hierboven al genoemde geometrische optica (pagina 328 e.v.) bleek bijvoorbeeld na enige tijd slechts op een beperkt gebied van lichtverschijnselen toepasbaar te zijn. Men ontdekte onder andere dat homogeen licht, dat een fijn traliewerk of een zeer smalle spleet passeerde, effecten liet zien die niet met het 'rechtlijnige' model van de geometrische optica verenigbaar waren. Om ook deze verschijnselen in een model te kunnen verklaren moest een nieuwe benadering gevonden worden. Christiaan Huygens publiceerde in 1690 een nieuwe theorie die gebaseerd was op een andere metafoor, namelijk: het vergelijken van de voortplanting van licht met de toen al vrij goed bekende voortplanting van geluidsgolven in lucht (van Cittert, 1958). Toen men er na enige tijd in slaagde om deze metafoor om te zetten in een wiskundige beschrijving, verkreeg men een nieuw model (c.q. een nieuwe theorie) dat zowel een exacte beschrijving gaf van de nieuwe verschijnselen als van de verschijnselen die ook via de geometrische optica beschreven kunnen worden. Een verschil met de oude situatie is wel dat verschijnselen, die volgens de geometrische optica eenvoudig verklaarbaar zijn (denk aan schaduwvorming), volgens de nieuwe golftheorie een verklaring nodig hebben die een stuk ingewikkelder is. Maar, omdat de golftheorie een groter gebied van lichtverschijnselen bestrijkt dan de geometrische optica, en bovendien een hogere nauwkeurigheid biedt, geldt de golftheorie als meer fundamenteel.

Het verschil tussen dergelijke modellen vergelijkt Toulmin met de verschillen tussen kaarten van eenzelfde gebied die op verschillende aspecten gericht zijn, en die verschillende graden van verfijning kunnen hebben (1967, pp. 101-107). Zo kan men van een gebied een wegenkaart maken, waarop wegen en afstanden duidelijk aangegeven staan, en steden en dorpen alleen als punten zijn aangegeven. Daarnaast kan men kaarten maken waarop bebouwing en begroeiing weergegeven worden, maar die zijn dan weer minder geschikt om een route te vinden. En daarnaast kunnen nog tal van andere kaartsoorten ontwikkeld worden. Tenslotte kan men ook kaarten maken (tegenwoordig digitaal) die zo goed mogelijk alle kennis omtrent een gebied geïntegreerd weergeven. Dergelijke geïntegreerde kaarten kan men vergelijken met fysische theorieën die recht doen aan alle bekende verschijnselen op een bepaald gebied (zoals het gebied van lichtverschijnselen). Dat is dan de meest verfijnde theorie op dat gebied, waarin de gehele op een bepaald moment bereikte stand van kennis over dat gebied geïntegreerd is. Rosen karakteriseert een dergelijke geïntegreerde theorie als het 'grootste model' van het betreffende gebied van verschijnselen (a.w., p. 55, 64, 103, 204 e.v.). Zo beschouwd illustreert de kaarten-metafoor in dit verband:

1. dat men een simpeler (of kleiner) model wel uit een verfijnder (of groter) model kan afleiden, maar niet omgekeerd,
2. dat een verfijnder (of groter) model een simpeler (of kleiner) model niet falsifieert, maar in een groter verband opneemt,
3. dat eenvoudige modellen in de praktijk veel bruikbaarere kunnen zijn dan verfijnde modellen,
4. maar dat de echte liefhebber (net als bij kaarten) wel een speciaal plekje in zijn hart heeft voor die prachtige complete en superverfijnde modellen (1967, p. 104).

Tenslotte: de kaartenmetafoor illustreert ook dat een model-als-thing alleen goed te begrijpen is, en ook alleen goed kan functioneren, in de context van een meer omvattende handelingspraktijk. Zoals kaarten of navigatieprogramma's pas gaan functioneren in de handen van gebruikers die dergelijke informatiedragers kunnen lezen en hanteren, zo is het ook met wetenschappelijke modellen (1967, p. 97)¹⁵⁹. De kaartenmetafoor illustreert ook dat het complete hulpmiddel dat helpt om zijn weg in onbekend gebied te vinden een specifiek georganiseerde werkwijze is, en niet alleen het instrument dat binnen die werkwijze een cruciale rol vervult.

¹⁵⁹ Toulmin formuleert dit als: "the physics is not in the formulae" ... "any more than being able to find your way is part of the map".

3 WITTGENSTEIN: HET MODEL ALS TAALSPEL

Wittgenstein plaatste dit laatstgenoemde idee, dat een model gezien moet worden als een instrument dat alleen te gebruiken en te begrijpen is in de context van een specifieke handelingspraktijk, in een verhelderend verband. In zijn postuum (1953) uitgegeven *Philosophische Untersuchungen* formuleert Wittgenstein een inzicht dat niet alleen opgaat voor wetenschappelijke modellen, maar voor alles wat in taal geformuleerd is. Zijn inzicht houdt in dat taal in het algemeen niet geïsoleerd beschouwd kan worden van de sociale praktijk waarbinnen deze functioneert¹⁶⁰. Dit begint al bij de manier waarop kleine kinderen hun moedertaal leren. Dit leren gebeurt in de vorm van spelletjes die opvoeders met hun kinderen spelen, en waar aanwijzen, voorzeggen, nazeggen, zingen, bewegen, dansen, enzovoorts deel van kunnen uitmaken. Het leren van een taal is ingebed in het leren van die spelletjes. Het spelenderwijs leren van taal is een onlosmakelijk geheel van het leren van woorden, uitdrukkingen, gebaren en handelingen. Een dergelijk spel, waarin taal geleerd wordt, noemt Wittgenstein dan een *taalspel*. Maar, ook na het eerste aanleren van de moedertaal, blijft het kenmerkend voor taalgebruik dat dit altijd ingebed is in het geheel van de handelingen van een sociale praktijk. Dit impliceert, dat de regels en normen, die bepalen hoe een specifieke praktijktaal gebruikt hoort te worden (zowel in syntactisch als semantisch opzicht), alleen goed begrepen kunnen worden wanneer men die regels en normen in de ruimere context beschouwt van het 'spel' dat in die praktijk gespeeld wordt. Een praktijktaal kan men daarom nog steeds vergelijken met de 'taalspelletjes' waarin de moedertaal oorspronkelijk geleerd is.

Dit inzicht van Wittgenstein heeft veel indruk gemaakt, en sindsdien is de term '*taalspel*' gangbaar geworden als benaming voor een sociale praktijk waarbinnen taal een belangrijke rol speelt, en waarbinnen de regels en normen voor taalgebruik een onlosmakelijk onderdeel vormen van de regels en normen die de betreffende praktijk als geheel reguleren.

Dit inzicht van Wittgenstein lijkt mij ook zeker van toepassing op onderzoek, en dus ook op modelvorming. Ook onderzoekstaal is ingebed in een systeem van regels voor waarnemen, voor meten, voor het isoleren van objecten, voor het uitwisselen van waarnemingen en onderzoeksresultaten, voor onderzoeks-ethiek, et cetera. Onderzoekstaal en onderzoeks-handelen vormen samen een innig verweven geheel. De gevolgtijheden die we kunnen ontdekken zijn dus niet alleen te danken aan de bemiddeling van taal, maar aan de bemiddeling van een innig verweven geheel van taal en handelen. Ook het praktische onderzoeksproces, als strategie die het mogelijk maakt om gevolgtijheden te ontdekken, kan daarom getypeerd worden als een '*taalspel*'.

Wanneer ik dit nu toepas op een specifiek model, bijvoorbeeld de mechanica van Newton, dan helpt Wittgensteins metafoor om te beseffen dat het '*middel*' dat Newton en zijn navolgers ontwikkelden veeleer een vernuftig gereguleerd *proces* is dan een 'ding'.

¹⁶⁰ Zie *Philosophische Untersuchungen* § 7 (2001, pp. 61-63, 214-216, 748-750).

Het is dit *proces* (van experimenteren, observeren, meten, formaliseren, toetsbaar voorspellen, ...) dat faciliteert dat er mechanismen ontdekt kunnen worden die berekenbaar en voorspelbaar zijn. De newtoniaanse modelhantering-als-*proces* is een vernuftig gereguleerde *bemiddeling* waarbinnen het model-als-*ding* zijn rol vervult.

Overigens: achteraf lijkt het mij duidelijk dat het voorgaande ook van toepassing is op wiskunde. Modelontwikkeling en -hantering hebben binnen de wiskunde net zo goed het karakter van een vernuftig gereguleerd taalspel, als binnen de fysische wetenschappen.

4 REACTIE OP DE EERSTE LEERLINGVRAAG

Ik kan mij niet meer herinneren hoe ik die eerste keer reageerde op de leerlingvraag die ik op pagina 470 als eerste noemde. Dat is ook niet van belang, want nu wil ik een voorbeeld uitwerken van een reactie die ik op grond van de voorafgaande verkenningen zou kunnen geven.

Uiteraard is het niet de bedoeling van mijn reactie om leerlingen dermate te imponeren met sterke argumenten, dat zij zich niet meer uitgenodigd voelen om zelf ook iets in te brengen. Waarschijnlijk moet ik daarom ook niet direct zelf een antwoord geven, maar eerst vragen naar de achtergronden van hun vraag, in de klas peilen welke verschillende reacties de vraag in eerste instantie bij de leerlingen zelf oproept, en er blijk van geven dat ik die reacties serieus neem. Maar, aan de andere kant weet ik ook dat zij op een gegeven moment beslist willen weten hoe ik erover denk, als een volwassene die met natuurkunde meer vertrouwd is dan zij, en die al veel langer de kans heeft gehad om over dergelijke vragen na te denken. Omdat ik op enig moment toch voor de draad zal moeten komen met mijn eigen reactie, is het verstandig om mij daarop voor te bereiden.

Om te beginnen zou ik (opnieuw) kunnen benadrukken dat het atoommodel van Rutherford ontwikkeld is op grond van botsingsproeven. De atomen van een bepaald materiaal werden met andere deeltjes beschoten, en met behulp van vernuftige instrumenten kon met de banen van die deeltjes volgen. Daarbij bleek, dat veel van die deeltjes ongehinderd dwars door de atomen heenvlogen, en dat maar een klein deel afgebogen werd door een botsing met iets aan de buitenkant van de atomen (elektronen), en een ander klein deel door een botsing met iets helemaal in het binnenste van de atomen (de kern). Op grond van die ervaringen maakten de onderzoekers een '3D-kaart' van iedere atoomsoort die zij onderzochten. Die '3D-kaarten' konden zij weer gebruiken bij ander onderzoek aan die atomen. Het resultaat is, dat een atoom wordt voorgesteld als een mini-zonnestelsel met een kern in plaats van de zon, en daaromheen cirkelende elektronen in

plaats van planeten. De elektrische aantrekkingskracht zorgt ervoor dat de elektronen in hun baan om de kern blijven¹⁶¹.

Je kunt zeggen dat de 3D-kaarten die op deze manier van iedere atoomsoort gemaakt zijn 'waar' zijn, omdat zij sindsdien precies bleken te kloppen, in duizenden experimenten die onderzoekers over de hele wereld hebben uitgevoerd. Het zijn kaarten die zeer betrouwbaar zijn wanneer je met dergelijke botsingen te maken hebt. Maar, het blijft natuurlijk raar dat je, als je met je hand tegen een muur duwt, niet dwars door die muur heen kunt gaan, wat je zou verwachten als de atomen van die muur en van je hand voor het allergrootste deel uit lege ruimte bestaan.

Daarom is het goed om ook uit te leggen dat dit atoom-model volgens natuurkundigen maar een 'halve waarheid' is. Er zijn namelijk ook 3D-kaarten van atomen ontwikkeld die er compleet anders uitzien. Die andere kaarten zijn als eerste door Niels Bohr ontwikkeld. Zijn 3D-kaarten waren gebaseerd op geheel andere experimenten met atomen. Experimenten, waarbij atomen werden 'opgeladen' met energie (in de vorm van warmte, elektriciteit of straling). Die atomen bleken die energie in eerste instantie te kunnen opnemen, maar iets later ook weer terug te kunnen geven in de vorm van licht met speciale kleuren. Iedere atoomsoort bleek volgens die experimenten gekenmerkt te kunnen worden door de specifieke combinaties van kleuren die zij kunnen uitzenden (de spectra). Met behulp van het atoom-model van Rutherford (het mini-zonnestelsel) kunnen deze verschijnselen helemaal *niet* verklaard worden. Bohr en zijn collega's ontwikkelden daarom een compleet ander atoom-model. Volgens dat model zijn de elektronen geen kleine deeltjes die om de kern cirkelen maar een soort van bolvormige trommelvellen die aan het trillen zijn. Die bolvormige trommelvellen kunnen op verschillende toonhoogtes trillen, zoals een plat trommelvel, of (zoals jullie geleerd hebben) de snaar van een muziekinstrument. Zoals jullie je herinneren kan de snaar van een muziekinstrument op verschillende toonhoogtes trillen, die we benoemen als 'grondtoon' en als 'boventonen'. Welnu, de verklaring die Bohr en zijn collega's van deze nieuwe experimenten konden geven kwam erop neer, dat die bolvormige trommelvellen rond de kern precies de energie kunnen opnemen die hen van een grondtoon in een boventoon brengt, en dat zij later weer kunnen terugvallen op hun grondtoon, en dan precies het energieverval uitstralen dat zij door dit terugvallen zijn kwijt geraakt. Op die manier ontwikkelden Bohr en collega's een compleet ander atoommodel dan Rutherford. Bohr c.s. stellen zich het atoom voor als een soort ui met trillende schillen. De ruimte rond de kern is volgens dit model ook helemaal niet leeg, maar gevuld met die trillende schillen. Bovendien ontdekten men dat de trillende schillen van het ene atoom bijna ondoordringbaar zijn voor

¹⁶¹ Voor leerlingen uiteraard te voorzien van afbeeldingen die ik hier gemakshalve achterwege laat. Zie voor de eerdere behandeling van de complementaire atoommodellen hoofdstuk 13 (§ 2.a, pagina 410 e.v.).

de trillende schillen van een ander atoom¹⁶². Dit is nu weer *wel* in overeenstemming met onze ervaring dat we niet zomaar een hand dwars door een muur heen kunnen steken. Het merkwaardige is dat ook van dit model gebleken is dat het bij vele experimenten en technische toepassingen een zeer betrouwbare kaart is. Bij de technische toepassingen kun je denken aan voorbeelden zoals TL-lampen of laserlicht. Maar, ook dit model is niet meer dan een 'halve waarheid' omdat dit model weer niet de verschijnselen kan verklaren waar het model van Rutherford een goede verklaring voor geeft.

Het lastige van de situatie met die twee modellen is, dat ze zich niet laten combineren in één model. Dit is een essentieel verschil met onze gewone kaarten. Denk bijvoorbeeld aan de kaarten van Google-earth, Google-maps en Google streetview. De ene kaartsoort is gebaseerd op hoe de aarde er van bovenaf uitziet, de andere op wegenkaarten, en de derde op het aanzicht van de omgeving op straatniveau. Die drie kaartsoorten zijn prima te verenigen tot één geheel, en kloppen in principe ook onderling precies met elkaar. Bij de verschillende kaarten van het atoom is het geheel anders, die zijn in strijd met elkaar. Er is geen manier om een mini-zonnestelsel en een ui met trillende schillen in één voorstelling van zaken te verenigen.

Vanwege die onverenigbaarheid is de situatie in de fysica nu zó, dat men op den duur maar geaccepteerd heeft, dat er twee onderling strijdige kaartsoorten zijn plus een handleiding die precies voorschrijft wanneer de ene en wanneer de andere kaartsoort van toepassing is. Met een mooi woord noemt men die twee kaartsoorten '*complementair*'. Die complementaire set van strijdige kaarten plus de handleiding vormt dan wél een geheel dat voor *alle* experimenten en toepassingen al zo'n 100 jaar als een betrouwbare gids gebruikt wordt. Bovendien is gebleken dat die complementariteit niet alleen geldt voor elektronen, maar voor alle 'deeltjes' die op het microniveau van atomen en hun onderdelen te ontdekken zijn (ook voor 'stralingsdeeltjes').

Deze situatie, die natuur- en scheikundigen tenslotte moesten accepteren, blijft heel vreemd. Het lijkt op het sprookje van de prinses en de kikker. Zo lang als de prinses de kikker als een kikker benadert blijft deze ook een kikker, maar op het moment dat zij dit diertje anders benadert door er een zoen op te geven verandert het bij toverslag in een prins. Zoiets lijkt er ook te gebeuren met elektronen en andere micro-deeltjes. Wanneer je het ene meetinstrument gebruikt dan zijn het trillingen die een vaag begrensde hoeveelheid ruimte innemen, en allerlei gedrag vertonen (zoals elkaar uitdoven of versterken) dat alleen trillingen kunnen hebben en vaste deeltjes nooit; en wanneer je een ander meetinstrument aanzet dan veranderen zij bij toverslag in precies gelokaliseerde keiharde biljartballetjes, die allerlei gedrag vertonen (zoals botsingen) dat alleen vaste deeltjes kunnen hebben en trillingen nooit.

¹⁶² Het uitsluitingsprincipe van Pauli, zie pagina 457.

Fysische onderzoekers hebben jarenlang gediscussieerd over de vraag hoe zij dit vreemde verschijnsel moeten begrijpen. Er is nog steeds geen verklaring waar zij het allemaal over eens zijn. De verklaring die mij het meeste aanspreekt is die van Niels Bohr, die ook één van de ontwikkelaars was van dat tweede atoommodel. Omdat Bohr in Kopenhagen woonde heeft zijn verklaring de naam gekregen van 'Kopenhaagse interpretatie'. Die verklaring kan als volgt uitgelegd worden:

Bij een normale kaart, zoals een stadsplattegrond, kun je met dezelfde ogen waarmee je de kaart bestudeert en met dezelfde handen waarmee je de kaart vasthoudt controleren of de kaart klopt. Je kunt met dezelfde ogen kijken of een zijstraat die op de kaart is aangegeven er ook echt is, en je kunt met dezelfde handen voelen dat een gebouw dat op de kaart is aangegeven ook een echt stenen gebouw is. Bij experimenten die bedoeld zijn om meer te weten te komen over atomen, elektronen, protonen, fotonen en andere micro-deeltjes is dat anders. Of de gegevens van een kaart, zoals een atoommodel, wel of niet kloppen met de werkelijkheid, kunnen we met onze ogen en handen alleen controleren aan de meetinstrumenten van ons experiment. Die instrumenten kunnen we met onze gewone ogen zien en met onze handen aanraken en vasthouden. Die instrumenten behoren tot onze 'gewone' zichtbare en tastbare wereld. Dit controleren gebeurt ook bij ieder experiment. Op grond van een model (een 'kaart') wordt voorspeld wat je op de instrumenten van een experiment te zien zou moeten krijgen. Als dat klopt is er een bevestiging dat het kaartsysteem 'waar' is. Het probleem zit hem in het verhaal over de micro-wereld uit de handleiding bij de complementaire kaarten. Over die micro-wereld, en over de hoofdpersonen die in die wereld optreden, wordt een vreemd verhaal verteld dat lijkt op het sprookje van de prinses en de kikker. Dat vreemde verhaal kunnen we nooit controleren met onze ogen en handen. De wereld van dat verhaal is zo onmogelijk klein dat wij er alleen contact mee kunnen maken via instrumenten. Wat die instrumenten te zien geven is te danken aan iets dat zich afspeelt tussen die instrumenten (die op het microniveau uit dezelfde microdeeltjes bestaan als die zij moeten meten) en datgene waarvan de onderzoekers meer te weten willen komen. Het ligt voor de hand dat de uitkomsten deels te danken zijn aan die instrumenten en deels aan de microprocessen en microdingetjes die zij meten. En, er is geen mogelijkheid om die verwevenheid te ontwarren. Daarom zeggen de onderzoekers van de Kopenhaagse school dat wij nooit een objectief beeld kunnen vormen van de zaken die deel uitmaken van de micro-wereld. We kunnen maar beter toegeven dat we gewoon niet weten, en ook niet *kunnen* weten hoe een atoom, een elektron, of welk micro-deeltje dan ook, op-zich is. We moeten het doen met deels fictieve verhalen, en dat zal altijd zo blijven. De kennis die we van de microwereld kunnen ontwikkelen zal altijd verweven blijven met onwetendheid.

Zo zou een leraarsreactie op de eerste leerlingvraag er uit kunnen zien. Hopelijk kan een dergelijke reactie bij leerlingen verwondering oproepen, en hen uitnodigen om na te denken over de vraag of dit wonderlijke schoolvak (met zijn kennis en zijn onwetendheid) hen al dan niet inspireert, en welke plaats zij daarvoor in hun leven zouden willen inruimen. Maar, het zoeken naar een dergelijk plaatsbepaling roept onvermijdelijk ook vragen op in de trant van de tweede leerlingvraag (pagina 470). Een eerste leraars-ant-

woord op die tweede vraag moet echter nog uitgesteld worden totdat het in de komende twee paragrafen voldoende is voorbereid.

5 POLANYI: ARTEFACTEN ALS INTERFACES

Een andere onderzoeker die lijnen doortrok waarvan ik de aanzet al bij Sizoo vond, is de chemicus-filosoof Michael Polanyi. Evenals Sizoo (pagina 445) betoogt Polanyi in *Personal Knowledge* (eerste publicatie 1958) dat fysisch onderzoek als een specifieke vorm van *interactie* beschouwd moet worden. En, evenals Sizoo (pagina's 439 en 445), benadrukt Polanyi dat die interactie niet alleen een relatie van scheiding en tegenoverstelling (van subject en object) impliceert, maar ook impliceert dat de onderzoeker als lichame-lijk-geestelijk wezen *participeert* aan een groter proces waar zijn creatieve zoeken en vinden van fysische kennis een aspect van is. Zodoende biedt Polanyi aanknopingspunten om verder na te denken over de vraag hoe het vertrouwen, dat een fysische onderzoeker heeft in zijn kennisbenadering, via een levensbeschouwing¹⁶³ ingebed kan worden in meer omvattende vormen van vertrouwen. Op de pagina's 442 en 446 beschreef ik hoe Sizoo een dergelijke inbedding formuleerde, op zijn eigen wijze, en in de context van discussies die daarover in 1940 en aan de Vrije Universiteit gevoerd werden. Daarbij constateerde ik ook dat Sizoo's levensbeschouwelijke formuleringen, in ieder geval wat mij betreft, vroegen om verbetering door integratie van nieuwe kennis en nieuwe zingende ervaringen. Om in de huidige context de vormende waarde van schoolvakken zoals scheikunde en natuurkunde te beschrijven is een vernieuwde inbedding van deze disciplines in een levensbeschouwelijke visie nodig (pagina 447 e.v.).

Voor het ontwikkelen van een dergelijke visie is reflectie nodig op de aard van menselijke kennis, waarbij de mens enerzijds beschouwd wordt als deel van de levende natuur, en anderzijds als een wezen dat binnen die natuur een eigen plaats inneemt¹⁶⁴. Polanyi ontwikkelde zijn visie op mens-zijn en menselijke kennis, via een grondige reflectie op het gebruik van instrumenten, en op complexe symbolische taal als een categorie van die instrumenten die vooral door mensen is ontwikkeld. Daarom zal ik aan de hand van Polanyi (en anderen) in deze paragraaf een weg bewandelen die uitkomt bij het menselijke taalvermogen.

Een belangrijk aandachtspunt daarbij is de rol die door mensen gemaakte hulpmiddelen (materieel of symbolisch) spelen in het oproepen van, en inperken tot, specifieke vormen van interactie. Wetenschappelijke modelvorming en modelgebruik kunnen beschouwd worden als voorbeeld van dit oproepen en inperken. In de voorafgaande hoofdstukken gebruikte ik al de term 'bril' om op de bepalende en beperkende rol van weten-

¹⁶³ Zie mijn opvatting van het concept 'levensbeschouwing' zoals toegelicht in deel I (hoofdstuk 3, § 2.b, voetnoot 78).

¹⁶⁴ Zie mijn toelichting op deze stellingname in deel I (hoofdstuk 3, § 3.b).

schappelijke benaderingen te wijzen. Maar, om nu een term te introduceren met een betekenis die minder gebonden is aan een al te concrete en specifieke metafoor, zal ik 'bril' in het vervolg vervangen door het algemenere begrip 'interface'. Met deze term bedoel ik vanaf nu een 'tusseniets' of 'hulpmiddel', dat door mensen gemaakt is (een artefact), en waarmee net zo goed een materieel instrument, een in taal vastgelegd symbolisch hulpmiddel, of een spel- of werkvorm bedoeld kan zijn¹⁶⁵.

5.a Waarnemen, kennis en vaardigheid

Om te kunnen bepalen welke invloed het gebruik van interfaces heeft op de interacties waaruit wij kennis opdoen, zal ik nu eerst ingaan op onze primaire vermogens om tussen werkelijkheid en illusie te onderscheiden *zonder* dat er van interfaces gebruik gemaakt wordt. Evenals Polanyi (en Sizoo, en vele anderen) ga ik ervan uit dat deze primaire vermogens berusten op onze lichamelijk-zintuiglijke 'natuur'. Ook naar deze 'natuur' is onderzoek gedaan dat verhelderende inzichten heeft opgeleverd¹⁶⁶. Inzichten, die gebruikt kunnen worden als startpunt voor de opbouw van een omvattende visie op kennis en waarheid. In navolging van Polanyi¹⁶⁷ zal ik nu bij deze inzichten beginnen.

Richtlijnen

Ons kenvermogen berust voor een belangrijk deel op het vermogen om via onze zintuigen waarnemingen te doen. Neem als voorbeeld het gezichtsvermogen. In verband met 'kennis' is het belangrijk om te beseffen, dat in ons gezichtsvermogen al richtlijnen zijn ingebouwd. Biologen hebben aangetoond dat de richtlijn om bij voorkeur scherpe beelden te vormen, al in de ontwikkeling en groei van onze ogen, en die van vele dieren, een prominente rol speelt (Meijer van Putten, 2006). En, wanneer de ogen volgroeid zijn dan draagt een heel systeem van neuronen en spiertjes er zorg voor dat wij zo veel mogelijk op scherpe waarnemingen kunnen afgaan. Er is als het ware in onze fysiologie (vermoedelijk het brein) een 'handleiding' vastgelegd die reguleert hoe bewegende voorwerpen met de ogen gevolgd moeten worden en hoe de lens moet accommoderen totdat er een scherp beeld op het netvlies ontvangen wordt. Die 'handleiding' is functioneel, omdat hij gericht is op het doel om scherpe waarnemingen op te doen.

Dat er nog meer richtlijnen gelden, die ons organisme onbewust tegen elkaar afweegt, blijkt uit experimenten waarbij men proefpersonen tegen een egale achter-

¹⁶⁵ In het werk van Jacqueline de Jong (2006) kwam ik een verhelderend voorbeeld tegen van het generaliseren van het oorspronkelijk technische concept 'interface' tot een veel algemener concept. Dit voorbeeld inspireerde mij tot navolging.

¹⁶⁶ Bedoeld is: perceptie-onderzoek en onderzoek uit de school van de Gestalt-psychologie.

¹⁶⁷ Zie Polanyi (1973, p. vii). De gestalt-psychologen waar Polanyi naar verwijst zijn met name Wolfgang Köhler, Kurt Koffka en Edward C. Tolman.

grond tennisballen liet zien die langzaam opgeblazen werden¹⁶⁸. De proefpersonen bleken in die situatie hun ooglenzen ongewild te accommoderen alsof de tennisballen steeds dichterbij kwamen, ondanks het effect dat zij de ballen daardoor steeds minder scherp gingen zien. En bovendien gingen zij hun ogen richten op een steeds kleinere afstand voor zich, ondanks het effect dat zij daardoor de ballen dubbel gingen zien. Dit experiment toonde aan dat de hersengebieden die de ogen aansturen hun eigen 'werkelijkheidscriteria' hanteren (objecten zoals tennisballen worden niet vanzelf groter, dus als zij groter lijken komen zij in werkelijkheid dichterbij), en daarmee zelfs oudere, van de evolutie geërfde 'werkelijkheidscriteria' (scherpzien, beelden op elkaar laten vallen) kunnen overrulen. Een ander bekend voorbeeld in deze sfeer is het experiment met de 'omkeerbrillen'¹⁶⁹. Men vraagt aan proefpersonen om een bril te dragen die onder en boven omkeert. Na enkele dagen van gewenning blijken deze personen, ook via de omkeerbril, onder en boven weer precies zo te zien zoals zij vroeger deden. Wanneer men vervolgens deze zelfde personen de omkeerbril weer afneemt, dan herstelt de oude manier van zien zich weer. Ook hier zien we dat ons brein, ook zonder dat wij daarover nadenken, een aantal richtlijnen hanteert (zoals coherentie van informatie die van verschillende zintuigen afkomstig is, coherentie met vroegere ervaringen, en dergelijke). Richtlijnen of voorkeuren die kennelijk, in de loop van de ontwikkeling tot de mensen die wij nu zijn, samengegaan zijn met de ontwikkeling van functionele handleidingen en procedures die op een diepliggend niveau in ons sensorische systeem zijn vastgelegd. Dat deze 'procedures' en 'handleidingen' zo diep in ons systeem zijn vastgelegd wijst erop, dat het volgen van deze richtlijnen ons van oudsher belangrijke voordelen heeft opgeleverd.

Die voordelen zullen voor een belangrijk deel gelegen hebben in hun bijdrage aan het vermogen om onderscheid te maken tussen 'werkelijkheid' en 'illusie'. Voor mensen is het van levensbelang om er in allerlei situaties op te kunnen vertrouwen "dat ik zie wat ik denk dat ik zie", "dat ik hoor wat ik denk dat ik hoor", et cetera. Dit vertrouwen wordt bereikt door het verenigen van vele deelwaarnemingen uit verschillende bronnen tot de waarneming van een coherent geheel. Denk bijvoorbeeld aan de situatie dat ik denk dat ik een boom zie met eetbare vruchten. Wanneer ik een mens ben die met zijn natuurlijke omgeving vertrouwd is, dan kan ik in één oogopslag een fruitboom herkennen. Het vertrouwen, dat ik zie wat ik denk dat ik zie, is dan gebaseerd op een snelle, moeiteloze en naadloze vereniging van vele deelwaarnemingen tot een geheel: vele optische waarnemingen van details worden verenigd tot de waarneming van deze fruitboom, en wellicht worden ook daarmee ook waarnemingen verenigd van geuren die bevestigen dat de boom ruikt zoals hij hoort te ruiken, en waarnemingen van geluiden

¹⁶⁸ Deze experimenten werden in de 50er jaren van de vorige eeuw uitgevoerd door Adelbert Ames en psychologen uit zijn school. Hier volg ik de beschrijving door Polanyi (1973, p. 96).

¹⁶⁹ Dit experiment werd in de 50er jaren van de vorige eeuw uitgevoerd door Köhler. Ook hier volg ik de beschrijving door Polanyi (1973, p. 97).

die bevestigen dat de boom ruist zoals hij hoort te ruisen, en tenslotte vele waarnemingen uit mijn geheugen die bevestigen dat deze fruitboom belangrijke kenmerken gemeen heeft met fruitbomen die ik eerder heb leren kennen.

Uiteraard is de herkenning uit dit voorbeeld mede gebaseerd op leerprocessen. Een baby zal de fruitboom nog niet als zodanig herkennen. Maar, onderzoek en experimenten (zoals de hierboven genoemde voorbeelden) maken aannemelijk, dat het vermogen om gehelen van toenemende ingewikkeldheid te leren herkennen gebouwd is op aangeboren vermogens om, volgens deels aangeboren criteria, spontaan deelwaarnemingen tot geheelwaarnemingen te verenigen.

Kennis

Bij deze leerprocessen speelt wisselwerking tussen waarnemingen en geheugen een belangrijke rol. De herinneringen aan de heerlijke smaak van een vrucht, en aan de vormen van de boom waaraan die hing, doen mij bijvoorbeeld bij een nieuwe ontmoeting die boom herkennen, en verleiden mij om opnieuw een vrucht te plukken en daarvan te eten. Wanneer die vrucht dan niet lekker smaakt, dan leer ik dat die eerste ervaring niet altijd herhaalbaar is, en dat wordt in mijn geheugen bij mijn voorstelling van de fruitboom opgeslagen. Bij volgende ontmoetingen zal ik dan voorzichtiger proeven of een vrucht wel of niet goed smaakt, en 'proefondervindelijk' bijvoorbeeld ontdekken dat er een associatie is tussen de kleur van de vrucht en de smaak. Vervolgens ontstaat in mijn geheugen een verder verbeterde voorstelling, namelijk dat bij een boom met die en die vormen de vruchten met een bepaalde kleur goed zijn om te eten. In deze trant kan de wisselwerking tussen waarnemingen en geheugen steeds verder gaan. Op den duur groeien er in het geheugen steeds genuanceerdere en meer uitgebreide voorstellingen, te vergelijken met kaarten waarop eerst alleen enkele stippen gezet worden, die op den duur door lijnen verbonden worden die samenhangen voorstellen. Die kaarten vormen een kader waarbinnen waarnemingen gericht ingezet kunnen worden om nieuwe informatie te verkrijgen, scherper op nuances te letten, uitzonderingen op aanvankelijke generalisaties te ontdekken, et cetera. In die zin zijn deze gerichtere waarnemingen een verbetering ten opzichte van de meer toevallige waarnemingen uit de voorafgaande fase. Wanneer deze wisselwerking niet stukloopt op onoplosbare strijdigheden, maar waarnemingen leiden tot bevestiging of verbetering van voorstellingen in het geheugen, en die voorstellingen weer leiden tot bevestigende of verbeterende waarnemingen, dan groeit zowel het vertrouwen in die opgeslagen voorstellingen als in ons waarnemingsvermogen. Tegelijk daarmee groeit het vertrouwen dat we afgestemd zijn op werkelijkheid, in plaats van de dupe te zijn van illusies. Ook al kunnen we over die afstemming geen zekerheid krijgen, omdat we de wisselwerking tussen voorstellingen en waarnemingen niet vanuit een buitenstandpunt kunnen observeren, het leven en leren verkrijgt in dit vertrouwen een vaste bodem.

Dergelijke reflecties leiden tot een specifieke opvatting van 'kennis'. Volgens deze opvatting kan kennis omschreven worden als: *de opbrengst van een leerproces, zoals die in een*

geheugen is opgeslagen. Omdat kennis opgeslagen is kan zij in nieuwe situaties steeds opnieuw opgeroepen en gebruikt worden. En bovendien kan opgeroepen kennis op grond van nieuwe waarnemingen verbeterd worden, en in verbeterde vorm weer vastgelegd worden. Bij de bovengenoemde voorbeelden betrof het steeds een individueel 'intern' geheugen, bij sociale dieren en mensen kan het geheugen deels via uitwisselingen collectief gemaakt worden, en bij mensen die voorstellingen in taal vastleggen kan het geheugen deels een extern geheugen zijn. In termen van dit kennisconcept kan bovengenoemde vruchtbare wisselwerking omschreven worden als: *waarnemingen leiden tot bevestiging of verbetering van kennis, die verbeterde kennis leidt tot nieuwe bevestigende of verbeterde waarnemingen, die verbeterde waarnemingen kunnen weer leiden tot verbeterde kennis*, et cetera, et cetera.

Wanneer we, in de lijn van Polanyi's denken, kennis zo definiëren, dan kunnen we met terugwerkende kracht de hiervoor genoemde 'procedures' en 'handleidingen', die zich in de loop van de evolutie hebben ontwikkeld, en die in de systemen van onze fysiologie zijn vastgelegd, ook als een vorm van 'kennis' beschouwen. Zo beschouwd is er in ieder levend wezen al een heel arsenaal aan 'aangeboren kennis' opgeslagen.

Op grond van het voorafgaande kan ik nu twee onderscheidingen introduceren die op Polanyi's werk geïnspireerd zijn, en die sindsdien door velen zijn nagevolgd.

Als eerste noem ik de onderscheiding tussen '*tacit knowledge*' en '*articulate knowledge*' (1973, hoofdstuk 5; 1983, deel 1). Het verschil dat deze onderscheiding bepaalt is het al dan niet functioneren van *taal* als medium voor het opslaan van kennis. De hierboven genoemde vormen van 'aangeboren kennis' functioneren bijvoorbeeld al voordat mensen die kennis in taal kunnen beschrijven, en bovendien functioneert die kennis gewoonlijk volkomen onbewust, zoals onder andere blijkt uit de hierboven vermelde voorbeelden van onderzoek. Deze vormen van kennis functioneren bovendien niet alleen bij mensen, maar ook bij levende wezens die niet in staat zijn om kennis in symbolische taal vast te leggen. Daarnaast besteedt Polanyi er uitvoerig aandacht aan dat veel aangeleerde kennis verworven wordt, zonder dat er taal aan te pas komt, bijvoorbeeld door leren van 'trial and error', of door imitatie, en ook bij mensen. En tenslotte: veel kennis die we aanvankelijk mede met behulp van taal leren, zoals bijvoorbeeld fietsen in het stadsverkeer, wordt op een bepaald niveau van beheersing 'tacit'. We stappen op een fiets en manoeuvreren door het verkeer van A naar B zonder daar verder bij te hoeven redeneren of denken. En dat is maar goed ook. Je moet er niet aan denken dat je voortdurend je kennis van het fietsen, van het verkeer en van de stad zou moeten oproepen uit handleidingen en kaarten die in taal zijn vastgelegd (zelfs al zou je die uit het hoofd geleerd hebben). Taal zou dan een veel te grote handicap vormen voor snelle toepassing, en een veel te groot beslag leggen op onze aandacht. Natuurlijk levert het vastleggen van kennis in taal aan mensen ook winst op, maar die winst komt pas aan de orde in de volgende paragraaf (§ 6) van dit hoofdstuk.

Als tweede noem ik de onderscheiding die Polanyi introduceert als het verschil tussen *'doelgerelateerde kennis'* en *'doelneutrale kennis'* (1973, p. 175). De eerste vorm van kennis betreft de wijze waarop een bepaald doel of resultaat bereikt kan worden, en de tweede vorm van kennis betreft waarnemingsopbrengsten of inzichten in samenhangen, die toepassingsneutraal zijn. De eerste vorm van kennis duidt hij regelmatig ook aan als *'operationele kennis'*, en een enkele keer als *'know-how'*. De tweede vorm van kennis benoemt hij soms als *'zuivere kennis'*. Evenals Toulmin vergelijkt hij deze tweede kennisvorm met een toepassingsneutrale 'kaart' (1973, p. 4).

Met betrekking tot het waarnemen houdt de eerste kennisvorm in, dat ergens is opgeslagen *hoe* ik bepaalde waarnemingen (met de vereiste scherpste) kan opdoen en *hoe* ik welke deelwaarnemingen daarbij tot een geheel kan verenigen. Bij deze kennisvorm wordt het waarnemen benaderd als een vorm van handelen (wat het ook is), en gaat het erom om deze vorm van handelen met het oog op gewenste resultaten zo goed mogelijk uit te voeren. *Know-how* is daarom een kennisvorm die niet alleen van toepassing is op het verenigen van deelwaarnemingen tot een geheelwaarneming, maar algemener: die van toepassing is op het verenigen van deelhandelingen tot geheelhandelingen.

De tweede kennisvorm heeft betrekking op een beperkter gebied. Zoals duidelijk wordt via de kaarten-metafoor gaat het daarin om het vastleggen van toepassingsneutrale *waarnemingsopbrengsten*. Dat wil zeggen: opbrengsten die zodanig uit waarnemings-handelingen worden afgeleid, dat zij zo weinig mogelijk beperkingen opleggen aan gebruik bij andersoortige handelingen. De opbrengsten die tot deze kennisvorm behoren kunnen bestaan uit vastgelegde *waarnemingsfeiten*, uit *waarnemings-samenhangen*, et cetera. Als een korte aanduiding van deze tweede kennisvorm is later de uitdrukking *'know-what'* gangbaar geworden. Hoewel deze aanduiding inhoudelijk de lading niet helemaal dekt zal ik mij daarbij in het vervolg korthedshalve aansluiten. Biologen leiden uit het gedrag van dieren af dat ook deze kennisvorm niet exclusief aan mensen is voorbehouden. Ook dieren geven blijk van het hanteren van 'cognitieve kaarten', door hun vermogen om bijvoorbeeld een categorie bomen te identificeren aan vaste kenmerken, of door hun vermogen om zich in een omgeving aan vaste structuren te oriënteren, et cetera.

De vermogens en de passies om deze twee soorten van kennis op te slaan en op te roepen, en om deze twee soorten van kennis door middel van leerprocessen uit te breiden en te verbeteren, hebben mensen van de evolutie geërfd, en delen zij met andere levende wezens. Damasio concludeert: ons brein is van nature *gulzig verslaafd* aan het maken van kaarten (2010, p. 217). In het licht van bovenstaande kan daar aan toegevoegd worden: ons brein is bovendien een gretige maker van handleidingen.

Vaardigheid

In de sfeer van 'tacit knowledge' zijn know-how en know-what sterk geïntegreerd. Bijvoorbeeld: tijdens een routine-fietstocht die ik woordeloos en onbewust afleg is mijn feitenkennis (know-what) van de straten en huizen die ik tegenkom naadloos geïntegreerd

in procedurele kennis (know-how) die inhoudt dat ik eerst door die straat moet, dan daar de hoek om, en dan ..., et cetera. Polanyi heeft het op dat niveau steeds over vaardigheden (1973, chapter 4). Elke vorm van 'tacit knowledge' is geïntegreerd in een vaardigheid (skill) om iets te *doen*. Opgeslagen kennis functioneert steeds in dienst van een vaardigheid om te handelen. En waarnemen is niet meer dan één van de vormen van handelen. In één oogopslag een vriend herkennen is ook een vaardige handeling, en er is nauwelijks vaardig handelen te bedenken waar vaardig waarnemen geen aspect van is. De mogelijkheid dat kennis en vaardigheden uit elkaar raken ontstaat pas op het niveau van 'articulate knowledge'. Op dat niveau bestaat de mogelijkheid dat iemand in theorie de cybernetica van het besturen van een fiets kent en begrijpt, en stadskaarten in zijn hoofd heeft, maar in de praktijk niet beschikt over de vaardigheid om op een fiets over-eind te blijven en een doel te bereiken.

Waarheid

In deze context is kan 'waarheid' beschouwd worden als een kwaliteitskenmerk van kennis. In overeenstemming met de leerlingen die, volgens de introductie tot dit hoofdstuk, vragen stelden over de waarheid van fysische kennis.

In verband met '*know-what*' kan ik aansluiten bij de eerder geformuleerde conclusie over het wederzijds verbeteren van kennis en waarnemingen (pagina 485). Ik kan dan formuleren: '*know-what* is waar in de mate waarin zij vruchtbaar is voor wederzijdse bevestigings- en verbeteringsprocessen, waarin toepassingsneutrale kennis leidt tot bevestigende en verbeterde toepassingsneutrale waarnemingen, de verbeterde waarnemingen leiden tot verbetering (inclusief uitbreiding) van kennis, en zo voorts.

Volgens deze omschrijving is waarheid een relatief begrip, omdat het waarheidsgehalte van kennis zo beschouwd gerelateerd is aan haar bevestiging van het vertrouwen op waarnemingen, en aan haar vruchtbaarheid voor verbeteringen¹⁷⁰.

In verband met '*know-how*' kan ik dan formuleren: '*know-how* is waar in de mate waarin zij vruchtbaar is voor wederzijdse bevestigings- en verbeteringsprocessen, waarin toepassingsgerichte kennis leidt tot bevestigend en verbeterd doelgericht handelen (inclusief doelgericht waarnemen), de verbeterde handelingen (inclusief waarnemingen) leiden tot verbeterde kennis, en zo voorts.

Waarheid is, zo gezien, ook in verband met 'know-how' een relatief begrip, omdat het waarheidsgehalte van deze kennis opnieuw gerelateerd is aan haar bevestiging van het vertrouwen op doelgericht handelen, en aan haar vruchtbaarheid voor verbeterin-

¹⁷⁰ De verbeteringen van 'know-what' kunnen ook geassocieerd worden met het eerder toegepaste concept van 'verbeterde onwetendheid' (hoofdstuk 13, §§ 1.e, 2.d en 2.e). Waarheid, volgens deze definitie als 'interactie-waarheid', gaat immers altijd gepaard aan onwetendheid, en wanneer deze waarheid in een bepaald opzicht verbeterd is kan men de ermee gepaard gaande blijvende onwetendheid ook als beter beschouwen.

gen. Verbeteringen, die bij deze kennisvorm hun waarde steeds ontlenuen aan één of andere vorm van nuttigheid of zingeving.

Betekenis en invariantie

Een belangrijk conclusie van hoofdstuk 12 hield in dat fysica als 'mechanisme-wetenschap', ofwel als wetenschap van invarianties, per definitie geen oog kán hebben voor betekenis (hoofdstuk 12, § 6.b). In hoofdstuk 13 werd vervolgens duidelijk dat de fysica tot op heden trouw gebleven is aan deze 'identiteit' (hoofdstuk 13, § 4).

Tegen deze achtergrond is het van belang om te weten, of zowel het kennen en hanteren van betekenissen, als het kennen en hanteren van invarianties, zuiver menselijke vermogens zijn die de mens en zijn cultuur ingrijpend van 'natuur' doen verschillen, óf dat ook deze vaardigheden berusten op een evolutionaire erfenis, en veeleer bevestigen dat mensen deel uitmaken van de natuur.

Recent ethologisch onderzoek, zoals uitgevoerd en beschreven door De Waal (2009, pp. 91-99), bevestigt bijvoorbeeld dat het 'lezen' van gelaatsuitdrukkingen onder primaten sociale functies vervult, die sterk overeenkomen met de functies van ditzelfde 'lezen' bij mensen. Bij primaten is het adequaat lezen van gelaatsuitdrukkingen van anderen in het sociaal verkeer evenzeer van groot belang als bij mensen. Deze onderzoeken bevestigen eerder onderzoek door gestalt-psychologen dat Polanyi al beschreef (1973, pp. 57-58). De gestalt-psychologen ontdekten dat dit lezen berust op een merkwaardige relatie tussen het waarnemen van delen (ogen, mond, wenkbrauwen, ...) of aspecten van een gezicht (zoals de kleur), en van het gezicht en zijn uitdrukking als geheel. *Het geheel wordt niet alleen vanuit de delen en aspecten begrepen, maar tegelijk worden de delen en aspecten vanuit het geheel begrepen.*

Ook afgezien van het lezen van gelaatsuitdrukkingen is het voor de meeste ethologen een duidelijke zaak dat dat het waarnemen van betekenis zowel voor dieren als voor mensen cruciaal is. Het gaat daarbij immers om het waarnemen van verschillen die van vitaal belang zijn, zoals eetbaar of giftig, gevaarlijk of ongevaarlijk, rivaal of partner, et cetera, et cetera. Ook wanneer taal (nog) niet aan de orde is oriënteren dieren en mensen zich op betekenissen die zij zowel waarnemen als zelf tot uitdrukking brengen.

Ook met betrekking tot de andere vraag hierboven, of het ontdekken en hanteren van invarianties een intellectuele vaardigheid is waar mensen exclusief over beschikken, is in de laatste decennia interessant ethologisch onderzoek verricht. De Waal behoort tot de biologen die deze vraag ontkennend beantwoorden. Ik volsta hier met één van zijn voorbeelden (2009, pp. 117-118). In een Zweedse dierentuin observeerde men hoe een vier jaar oud chimpanseejong bijna stikte: *"het hing in een klimtouw, met het touw dubbel om zijn nek geslagen. In stilte worstelde hij om los te komen, terwijl zijn voeten los bungelden. De oudste, meest dominante man uit de groep ging naar het slachtoffer toe, tilde hem met één arm op, zodat de spanning op het touw wegviel, en bevrijdde hem met zijn vrije hand uit het touw. Daarna droeg hij het jong omlaag en zette het voorzichtig op de grond."* Dit

voorbeeld illustreert dat intelligente dieren zoals chimpansees inzicht in causale invarianties (hangen \Rightarrow stikken; optillen \Rightarrow ademhalen) kunnen demonstreren. In dit voorbeeld was deze invariantie voor de betrokken chimp dermate duidelijk dat hij de eerste emotionele impuls –trekken- onderdrukte om 'koel' en doelmatig op te kunnen treden.

Zodoende worden twee oude vooroordelen, die in de geschiedenis van de fysica een grote rol hebben gespeeld, door onderzoek van de laatste decennia weerlegd. Het vooroordeel dat in de natuur geen betekenis zou voorkomen, en dat alle betekenissen die mensen aan natuurlijke zaken toeschrijven alleen maar van mensen afkomstig kunnen zijn, wordt weerlegd door het gegeven dat het leven van dieren (en mogelijk van alle levende wezens), evenzeer als het mensenleven, van betekenissen aan elkaar hangt.

Het andere vooroordeel dat de mens zich, door een bovennatuurlijk vermogen om causale samenhangen te ontdekken en mathematisch te beschrijven, boven de rest van de natuur zou verheffen, is eveneens weerlegd. Ook het ontdekken en gebruiken van invarianties behoort tot onze natuurlijke uitrusting. Door bovendien gebruik te maken van taal versterken en verfijnen fysische en andere wetenschappen alleen maar een natuurlijk vermogen.

De 'hoofdwet' van Polanyi

Wanneer we onze aandacht richten op een geheel, zoals de gezichtsuitdrukking van een persoon of de logica van een mechanisme, dan ligt de focus van onze waarneming bij het geheel. Om een geheel als geheel te begrijpen *moeten* we onze waarnemingen van de details naar de achtergrond dringen. Om ons bewust te kunnen zijn van het geheel laten we de deelwaarnemingen (die er nog steeds zijn) in ons onbewuste 'wegzakken' (1973, pp. 61-62)¹⁷¹. Polanyi maakt op grond van dit alles het onderscheid tussen 'subsidiary awareness' en 'focal awareness' (1973, pp. 55-57). Met het eerste bedoelt hij het besef van ondersteunende deelwaarnemingen, en met het tweede het besef van het geheel dat in het brandpunt van de aandacht staat. Voor hem is het een 'hoofdwet' dat deze twee soorten van besef elkaar nodig hebben, maar elkaar ook niet verdragen. Een mens kan onmogelijk tegelijk helemaal geconcentreerd zijn op een geheel en tegelijk de deelwaarnemingen beseffen waarop zijn waarneming van het geheel gebaseerd is. Of omgekeerd: een mens kan zich onmogelijk helemaal concentreren op een detail en tegelijk het geheel goed in het oog houden. De aandacht kan wel verschuiven van de ene naar de andere pool. Bij het luisteren naar muziek kan het mij bijvoorbeeld opvallen dat er ineens een andere sfeer uit de muziek spreekt. Ik kan dan op details gaan letten en ontdekken dat er een overgang was naar een andere maatsort of een andere toonsoort.

¹⁷¹ Dit overlaten van veel 'informatieverwerking', die op de achtergrond onbewust moet plaats vinden ter wille van het 'voorgroondbewustzijn', is bevestigd door veel onderzoek, dat bijvoorbeeld door Dijksterhuis in *Het slimme onbewuste* (2007) is samengevat.

Maar, dat gaat direct gepaard met verlies van contact met die bijzondere sfeer. Om die weer waar te nemen moet ik de details weer vergeten.

5.b Instrumenten als interfaces

Polanyi past deze inzichten vervolgens toe op het gebruik van instrumenten. Een karakteristiek voorbeeld, dat hij meerdere malen gebruikt, is het gebruik door een blinde van een blindenstok. Wanneer de blinde deze stok gebruikt om zijn weg door een omgeving te vinden, dan bestaan de deelwaarnemingen die hij opdoet uit de schokjes die het handvat van de stok op zijn hand en pols uitoefent en zijn eigen spierbewegingen waarmee hij het handvat (en daarmee de stok) in verschillende richtingen beweegt. Het leerproces waarmee de blinde leert om deze stok adequaat te gebruiken heeft een iteratieve structuur. Hij leert zijn vaardigheid ook van geheel naar deel en omgekeerd. Hij begint niet met te letten op detailwaarnemingen en deelhandelingen, maar een deel daarvan leert hij al onbewust van doelgerichte pogingen om met de stok te tasten. Pas als dit nog niet goed lukt let hij op details om die te verbeteren. En daarna concentreert hij zich weer op het geheel. Dit leerproces heeft een opmerkelijk resultaat: hij vergeet op den duur al die deelwaarnemingen en deelhandelingen, en de stok wordt een verlengstuk van zijn arm en hand, en van zijn 'tastgevoel'. Het puntje van de stok is het 'tastorgaan' geworden waarmee hij zijn omgeving aftast. Wanneer zijn deelwaarnemingen goed geïntegreerd zijn, en hij geconcentreerd is op het verkennen van zijn omgeving, dan is hij zich van de bemiddeling door de stok niet meer bewust (1973, pp. 61-62).

Aan dit voorbeeld kan een eindeloze rij van andere voorbeelden toegevoegd worden. Een automobilist, die aan zijn auto gewend is, voelt via zijn banden als tastorgaan hoe het wegdek is, en hij ziet direct of er in een nauwe straat voldoende ruimte is om tussen de geparkeerde auto's door te komen. Net zo goed als hij direct ziet of hij met zijn lichaam door een nauwe opening kan komen. Een auto, of een fiets, wordt een verlengstuk van ons lichamelijke zelf. Ook televisies¹⁷², computers, smartphones, tennisrackets, enzovoorts fungeren als dergelijke verlengstukken.

De hiervoor genoemde 'hoofdwet' van Polanyi, over de moeizame verenigbaarheid van het besef van ondersteunende deelwaarnemingen en -handelingen, en de concentratie op het geheel, geldt ook voor dit integreren van instrumenten in ons lichamelijk geheel. Hij gebruikt als voorbeeld een concertpianist die via zijn instrument een publiek van een mooie compositie wil laten genieten. Het 'instuderen' van de compositie door de pianist berust op het steeds verder integreren van delen in grotere gehelen. Het begint met het instuderen van 'loopjes' als gehelen van noten, en van loopjes tot melodielijnen

¹⁷² Denk aan de neiging om mensen die wij 'van de televisie kennen', als een bekende te groeten wanneer wij hen toevallig ergens direct tegenkomen. Dat wij hen slechts (eenzijdig) kennen door de 'tussenkomst' van een instrument zijn wij geneigd te vergeten, omdat bij het kijken die 'tussenkomst' in de meeste tijd onbewust is.

en akkoorden voor linkerhand en rechterhand, et cetera, et cetera, en tenslotte tot het integreren van alle onderdelen en aspecten van zijn uitvoering tot één coherent kunstwerk dat gecommuniceerd kan worden via de piano. Wanneer een pianist zijn concert goed wil kunnen uitvoeren, dan moet hij zich op de grootst mogelijke gehelen concentreren, en moet hij details zoals vingerzettingen kunnen vergeten. Een bekend voorbeeld van wat er kan gebeuren wanneer artiesten toch gehinderd worden door zorgen over details, is de verlamme werking van het 'zelf-bewustzijn' dat bekend staat als 'planckenkoorts' (1973, p. 56).

Brein-machine-interfaces

Onze lichamelijke zijswijze¹⁷³ kenmerkt zich door gretigheid en vaardigheid om allerlei interfaces in het lichamelijke geheel te kunnen integreren. Het onderzoek naar die vaardigheid heeft sindsdien indrukwekkende resultaten opgeleverd, die Polanyi's benadering bevestigen. Een belangrijke tak van dit onderzoek betreft brein-machine-interfaces (BMI's). Eén van de onderzoekers op dit gebied, Nicolelis (2011), implanteerde een ontvanger van hersen-signalen bij een rat en verbond die via een computer met een robotarm. In eerste instantie moest de rat op een hendeltje drukken om door de robotarm een druppeltje water aangereikt te krijgen. Daarna bleek de rat te leren om, door alleen te *denken* aan het indrukken van het hendeltje, zichzelf door middel van die arm van druppeltjes water te voorzien. Verder werkend in deze lijn waren de onderzoekers op den duur in staat om uit hersensignalen de armbewegingen van een aapje te decoderen en robotarmen op grond van die signalen dezelfde bewegingen te doen uitvoeren. Op den duur leerde het aapje om via de robotarmen een joystick te besturen en een computerspelletje te spelen door aan het bewegen van de joystick te denken. Na deze experimenten verbond Nicolelis een aapje in Amerika via internet en video-verbinding met een robot in Japan, en dit aapje leerde om deze robot te laten lopen, puur door naar de robot te kijken en aan loopbewegingen te denken¹⁷⁴. Tenslotte waagden de onderzoekers de stap naar de mens. In een uitzending van VPRO's *Tegenlicht* (VPRO, 2014) is een vrouw te zien, wier lichaam van hals tot en met voeten volledig verlamd is, en bij wie een dergelijke BMI geïmplant is. Ook haar BMI is via een computer verbonden met een robotarm. Haar brein bleek zich binnen enkele weken meester te maken van de robotarm. Zij leerde bijvoorbeeld om met die robotarm voedsel en drinken op te pakken en naar haar mond te brengen. Zij rapporteert over een leerproces dat geheel in de lijn ligt van de deel-geheel benadering zoals Polanyi die al beschreef. Zij vertelt dat zij aanvanke-

¹⁷³ De uitdrukking 'lichamelijke zijswijze' sluit in dit verband het 'mentale' of 'geestelijke' niet uit, maar in. Deze uitdrukking is hier bedoeld als korte samenvatting van de raadselachtige verwevenheid van subjectieve- en objectieve lichamelijkeheid.

¹⁷⁴ De tot hier genoemde voorbeelden van BMI's zijn te vinden in de hoofdstukken 6 t/m 8 van *Beyond boundaries* (Nicolelis, 2011) en waren te zien in de uitzending van VPRO's *Tegenlicht*, met de titel "Het gretige brein" (VPRO, 2014).

lijk moest leren om de arm detailbewegingen te laten maken door aan die detailbewegingen te denken, zoals "draai met de klok mee", "naar beneden", "vooruit", "achteruit", maar dat zij op den duur alleen maar aan het doel hoefde te denken om de arm gecompliceerde bewegingen te laten maken. Haar brein bestuurde nog steeds ook de detailbewegingen, maar aan de details van de besturing hoefde zij niet meer bewust te denken¹⁷⁵.

Ook de onderzoekers naar deze nieuwe interfaces zien in de effectiviteit daarvan een bevestiging van het inzicht, dat mensen en intelligente dieren beschikken over een natuurlijke vaardigheid en gretigheid om instrumenten, als verlengstukken van zichzelf, te integreren in hun lichamelijke zijn-in-de-wereld. Het maakt daarbij in principe niet uit of het gaat om hamers, tennisrackets, auto's, computers, vliegtuigen, of een geïmplanteerde BMI. Die integratie berust op een diep vertrouwen ('reliance') dat wij kennelijk aan dergelijke instrumenten kunnen geven. Een vertrouwen dat even diep kan gaan als het vertrouwen op onze niet door dergelijke interfaces bemiddelde vermogens. Het leren vertrouwen op deze interfaces voltrekt zich via dezelfde bevestigingen en verbeteringen als die waarop wij leerden vertrouwen op kennis die in het eigen geheugen is opgeslagen, op technisch onbemiddeld waarnemen en op technisch onbemiddeld handelen (pagina's 484 en 487). Het hoeft daarom geen verwondering te wekken dat onze verhouding met de instrumenten waar wij ons aan toevertrouwen een intiem karakter heeft. Wij raken persoonlijk gehecht aan onze auto, onze computer, onze favoriete kleren, ons huis, onze pacemaker, et cetera (1973, pp. 59-62).

Intieme technologie

Een recente publicatie van het Rathenau-instituut, met de titel *Intieme technologie* (van Est, Rerimassie, van Keulen, & Dorren, 2014), gaat dieper op deze ontwikkeling in. De auteurs betogen daarin dat wij geneigd zijn om allerlei technische instrumenten zeer dicht bij onszelf, en zelfs ook binnen in ons lichaam toe te laten. Eigenlijk zijn we al mens-machinemengsels, ofwel cyborgs, geworden. Zij benadrukken het belang om niet 'al te goed van vertrouwen' te zijn, maar kritisch na te denken over de implicaties die de integratie van nieuwe technieken in ons lichamelijke zijn met zich mee kan brengen. Dit belang is zeer groot omdat onze mogelijkheden om in contact of in interactie met onze omgeving te zijn op het spel staan. In-contact-zijn of in-interactie-zijn is een fundamenteel aspect van mens-zijn. Ons lichamenlijk-zijn is de grondslag daarvan¹⁷⁶. Wanneer wij onze lichamelijke mogelijkheden tot contact en interactie uitbreiden via technische

¹⁷⁵ Zie <https://www.youtube.com/watch?v=yqO2h6M1sxE>, https://www.youtube.com/watch?v=T_Z5LDN10bk, en <https://www.youtube.com/watch?v=ql8wn7DeZr0>.

¹⁷⁶ Een uitvoeriger argumentatie voor deze stelling heb ik uitgewerkt in *Het verzwegen lichaam en de onwetendheid van de wetenschap* (1985), en *Wonen in het andere en het verlangen om te zijn* (1986). In deze voorstudies bepleit ik deze stelling op grond van gedachtegangen die niet alleen aan Polanyi, maar daarnaast ook aan Spinoza, Merleau-Ponty en Levinas ontleend zijn.

hulpmiddelen, dan is het ook van belang om te weten welke implicaties inherent zijn aan hun gebruik.

Implicaties

Om een beeld van deze implicaties te krijgen is het nuttig om te beseffen dat gereedschappen en machines artefacten zijn die, als *technische* hulpmiddelen (afgezien van alle andere betekenissen die hun vormgeving communiceert), zodanig gemaakt zijn dat zij als mechanismen functioneren¹⁷⁷.

Welnu, onze lichamelijke vaardigheid en gretigheid om technologische hulpmiddelen in ons 'zijn-in-de-wereld' te integreren ligt daarom geheel in het verlengde van onze 'natuurlijke aanleg' om de logica van mechanismen te begrijpen en te hanteren. Aan de hand van de fysica, als voorbeeld van een interactie die zich concentreert op de werking van mechanismen, zijn in de voorafgaande paragrafen van dit hoofdstuk enkele implicaties duidelijk geworden van de interactie die samenhangt met concentratie op mechanismen. Wanneer wij ons concentreren op het leren kennen en hanteren van mechanismen, dan impliceert dit een interactie die zich concentreert op:

- de werking van een geheel als som van de werkingen van delen,
- de werking van een systeem als gevolg van voorafgaande oorzaken, *afgezien* van bedoelingen, doelen, functies, betekenissen, en dergelijke,
- de invariante samenhang van een beperkt aantal factoren,
- contextonafhankelijke herhaalbaarheid,
- generieke kenmerken en samenhangen, waarbij het singuliere of unieke hoofdzakelijk opgevat wordt als 'instantie' of 'casus' van iets gemeens.

Bovendien is het van belang om te beseffen dat interactie, als *wisselwerking*, impliceert dat dergelijke interactie ook inwerkt op onszelf. Met name van ons brein is bekend dat het gekenmerkt wordt door grote vormbaarheid (Sitskoorn, 2006). Deze plasticiteit impliceert dat wij, door de interacties waarin wij ons begeven en bekwamen, tegelijk vorm geven aan onszelf. Die specifieke vorm kan een verrijking betekenen, maar kan ook, bij té sterke eenzijdigheid, verarming betekenen. Die verarming kan bijvoorbeeld betekenen dat wij 'waarheid' té eenzijdig associëren met de wederzijdse bevestiging en verbetering van kennis, waarneming en hantering van mechanismen¹⁷⁸, en dat wij vergeten dat ook geheel andere modi van 'waarheid' van belang zijn voor onze vorming tot en als creatieve vormgevers.

¹⁷⁷ Zoals eerder toegelicht werd in hoofdstuk 13 (§ 2.f en § 4).

¹⁷⁸ Zie de omschrijving van 'waarheid' op pagina 487.

5.c Taal als interface

In het voorafgaande is beschreven dat dieren en mensen kunnen leren om materiële interfaces, die volgens de logica van mechanismen werken, te gebruiken als verlengstukken van hun lichamelijke zijn-in-de-wereld. Daarbij is de rol van taal nog buiten beschouwing gelaten, omdat het de bedoeling was te laten zien dat een dergelijke integratie van interfaces niet persé de ondersteuning door taal nodig heeft. Ook diersoorten die niet over taal beschikken blijken bijvoorbeeld in staat te zijn om mechanistisch werkende interfaces in hun lichamelijkheid te integreren.

Nu dit duidelijk is, wordt het tijd om te bezien wat het gebruik van taal toevoegt aan het gebruik van interfaces, en of taal zelf misschien ook als interface beschouwd kan worden. Een eerste reden om taal als interface te beschouwen is gegeven in de al eerder genoemde onderscheiding door Peirce tussen *iconen*, *indexen* en *symbolen* als betekenisdragers (pagina 373). Van deze drie komt het systematisch gebruik van symbolen alleen bij mensen voor. Het kenmerkende van symbolen is dat zij op afspraken berusten. Kennelijk hebben mensen ooit in hun ontwikkeling ontdekt dat er meer mogelijk is dan het afgaan op de 'natuurlijk' gegeven betekenissen van iconen en indexen, maar dat symbolen mogelijkheden in zich bergen om met betekenissen te 'spelen' en om complexe betekenis-constructies te ontwikkelen. Kan menselijke taal daarom ook als *artefact*, of als *interface* beschouwd worden?

Hoewel Polanyi een term zoals 'interface' niet gebruikt impliceert zijn gedachtegang een bevestigend antwoord op deze vraag. Om dit duidelijk te maken begin ik nu bij zijn beschouwingen over taal als intermediair tussen mensen. Wanneer wij bijvoorbeeld naar iemand luisteren, of een brief lezen die iemand ons gestuurd heeft, dan speelt de verhouding tussen 'subsidiary awareness' en 'focal awareness' precies dezelfde rol als bij het voorbeeld van de blindenstok of het voorbeeld van het luisteren naar muziek. Wanneer wij via gesproken of geschreven taal in goed contact zijn met een andere persoon, dan zijn we ons van de woorden en de andere details van de communicatie niet bewust. Pas wanneer wij er onzeker over zijn of wij de ander wel goed begrijpen, worden wij ons bewust van sommige details, en vragen wij ons bijvoorbeeld af of iemand met een woord of een zinswending wel hetzelfde bedoelt als wij veronderstellen¹⁷⁹. Polanyi verwijst instemmend naar het gebruik om in dit verband te spreken over de *trans-*

¹⁷⁹ Dat de ondersteunende details belangrijk zijn, blijkt bijvoorbeeld uit het verschil tussen de moeite die het kost om iemands boodschap goed te verstaan, wanneer men face-to-face communicatie verkrijgt met een handgeschreven brief, of met een email. Bij face-to-face communicatie verkrijgt men naast de taaluitingen ook nog informatie via gelaatsuitdrukkingen gebaren, intonaties en dergelijke. Bij een handgeschreven brief is de hoeveelheid bijkomende informatie veel minder, maar kan men ook nog iets uit het handschrift opmaken. De informatie die via een email komt is nog armer aan ondersteunende details en kan daarom –zoals ieder weet– ook makkelijker tot misverstanden aanleiding geven.

parantie van taal (1973, p. 57). Wanneer we via taal in goed contact zijn met het verhaal of het betoog van een ander, dan is taal net zo transparant als een goede bril, die ons zó goed in staat stelt om scherp te zien, dat we zijn bemiddeling niet meer merken¹⁸⁰. Omgekeerd, wanneer het transparante contact met het verhaal of betoog van een ander op de één of andere manier vertroebeld wordt, dan kunnen details, zoals woorden of zinswendingen, weer terugkomen in ons voorgrondbewustzijn, omdat we de indruk krijgen dat we op detailniveau een probleem moeten oplossen, om de transparantie te kunnen herstellen.

Voor Polanyi is het belangrijk om te benadrukken dat ons taalvermogen diep geworteld is in lichamelijke vermogens, die we deels wel en deels niet met andere primaten gemeen hebben, en die deels aangeboren en deels aangeleerd zijn (1973, pp. 69-131). Wij mensen beschikken over het vermogen om een complex geheel van deeltaken uit te voeren, dat als geheel ons taalgebruik realiseert. Het integreren van die deeltaken hebben we als kleine kinderen geleerd door deel te nemen aan elementaire 'taalspelen'. Op een gegeven moment krijgen kinderen steeds beter door hoe die integratie werkt. Zij 'weten' dan hoe taal werkt, zonder dat zij déze kennis in taal kunnen of hoeven te vangen. 'Tacit knowledge' vormt een onmisbare grondslag waar wij gedurende ons hele leven op blijven bouwen en vertrouwen. Essentieel blijft ook dat taalgebruik optimaal functioneert wanneer we ons van deeltaken en andere details niet bewust hoeven te zijn, maar ons daardoorheen transparant kunnen concentreren op een communicatief doel. Zoals men zegt: "de woorden komen dan vanzelf".

Op deze wijze blijkt dat Polanyi taal, en in taal geformuleerde producten, op geheel vergelijkbare wijze met materieel-fysieke hulpmiddelen, beschouwt als verlengstukken van onderliggende lichamelijke vermogens tot contact, oriëntatie en interactie. Daarom kan gesteld worden dat Polanyi, ook al gebruikt hij zelf deze term niet, ook taal en in taal geformuleerde bronnen of hulpmiddelen (inclusief wetenschappelijke modellen en theorieën) als interfaces beschouwt.

Zoals aangekondigd aan het einde van § 4 (pagina 477), was de huidige paragraaf bedoeld als eerste voorbereiding op het beantwoorden van de tweede leerlingvraag naar de waarheids-pretenties van fysische kennis (pagina 470). Op de weg naar dit doel is fysische kennis nu gepositioneerd als kennis die in taal is opgeslagen, en die als symbolische interface beschouwd kan worden. In vervolg daarop wil ik in de volgende paragraaf de balans opmaken van de mogelijkheden en beperkingen van fysisch-mathematische modellen, als in taal geformuleerde interfaces. Maar, om dat te kunnen doen moet ik nu

¹⁸⁰ Polanyi gebruikt hierbij een extreem voorbeeld uit eigen ervaring. Als Canadees zijn verschillende talen hem vertrouwd, en is hij gewend om in verschillende talen met allerlei mensen te corresponderen. Deze verschillende talen zijn voor hem zó transparant dat hij soms merkt dat hij van een brief, die hij zojuist gelezen heeft, niet eens meer weet in welke taal die geschreven is (1973, p. 57).

eerst, meer in het algemeen, deze balans opmaken voor het gebruik van taal. Daarbij is mijn eerste richtvraag:

- *wat winnen we wanneer we taal gebruiken om kennis in op te slaan, en in taal geformuleerde kennisvormen als interfaces gebruiken?*

6 WINST BIJ GEBRUIK VAN TAAL ALS INTERFACE

Bovenstaande vraag is niet eens zo makkelijk te beantwoorden. Omdat wij al van jongs af aan taal als interface hebben leren gebruiken voor communiceren, waarnemen, handelen, denken, voelen, et cetera, is het nagenoeg onmogelijk om ons voor te stellen hoe ons leven was toen wij nog niet over taal beschikten, en wat er veranderde toen taal in ons leven kwam. Daarom is het boeiend om te lezen hoe iemand de ontdekking van taal beleefde, die door omstandigheden die ontdekking pas later meemaakte, en die zich daardoor die ontdekking kon herinneren. Helen Keller was zo'n uitzondering. Zij werd in 1880 geboren, en werd na 19 maanden door een ziekte doof en blind. Haar taalontwikkeling werd zodoende in de kiem gesmoord, en zij leefde zonder taal tot haar 7^e jaar. Pas toen ontmoette zij Anne Sullivan, die het als haar uitdaging zag om het dubbel gehandicapte kind via vingersignalen taal te leren. De (her)ontdekking van taal maakte op het kind een diepe indruk¹⁸¹. In haar autobiografie (1936) beschreef zij die als volgt: *"We walked down the path to the well-house, attracted by the fragrance of the honeysuckle with which it was covered. Some one was drawing water and my teacher placed my hand under the spout. As the cool stream gushed over my hand she spelled into the other the word water, first slowly, then rapidly. I stood still, my whole attention fixed upon the motion of her fingers. Suddenly I felt a misty consciousness as of something forgotten – a thrill of returning thought; and somehow the mystery of language was revealed to me. I knew then that w-a-t-e-r meant the wonderful cool something that was flowing over my hand. That living word awakend my soul, gave it light, hope, joy, set it free! There were barriers still, it is true, but barriers that in time could be swept away. I left the well-house eager to learn. Everything had a name, and each name gave birth to a new thought. As we returned to the house every object which I touched seemed to quiver with life. That was because I saw everything with the strange, new sight that had come to me."*

6.a Eerste winst

Aan het einde van haar beschrijving noemt Keller de ontdekking, dat alles een *naam* heeft, als een essentieel element van haar eerste ervaring van taal. Wat zijn de implica-

¹⁸¹ Het indrukwekkende leven van Helen Keller is vele malen beschreven. Zie voor een beknopte samenvatting (Encyclopaedia_Britannica, 2014a).

ties daarvan?¹⁸² Een eerste implicatie is, dat we een 'iets' waarmee we kennis gemaakt hebben, middels de naamgeving, expliciet als een 'iets' identificeren. In de naam wordt tegelijk ook het geheel van de (ervarings)kennis benoemd die de kennismaking oplevert. Zodoende maakt de naam het mogelijk om aan dat 'iets', en aan de kennis die de kennismaking oplevert, te *denken*, ook wanneer er geen feitelijk contact met dat 'iets' is. Zoals Keller schrijft: uit iedere naam worden gedachten geboren.

Maar, wat is er in dit verband bedoeld met 'gedachte'? Immers, jonge kinderen hebben al innerlijke belevingen ook voordat zij taal verwerven, en ook volwassenen ervaren in dromen en dagdromen een spontaan innerlijk leven van beelden, belevingen en gevoelens die deels woordeloos zijn. Piaget (1926, hoofdstuk 1, § 12) benoemt dit spontane innerlijke leven als '*droom-denken*'¹⁸³, in onderscheiding van het '*gerichte denken*', dat wij meestal bedoelen wanneer wij over 'denken' spreken. Het lijkt mij dat Helen Keller in dit verband met 'gedachte' die laatste soort van denken bedoelt¹⁸⁴. Zij ontdekt dat zij met de taal toegang krijgt tot een nieuwe dimensie van innerlijk leven.

Een andere belangrijke implicatie is, dat de naam waarmee dit 'iets' kan worden benoemd en overdacht niet van haarzelf afkomstig is, maar van een onafzienbare gemeenschap van mensen die haar zijn voorgegaan, en die deze naam aan dit verschijnsel hebben gegeven. In één slag maakt zij niet alleen deel uit van een wondere wereld van dingen, processen en verschijnselen die een naam hebben en overdacht kunnen worden, maar ook van een taalgemeenschap die al een lange geschiedenis achter de rug heeft van ervaringen, gedachten, handelingen en communicatie over dit alles. Een geschiedenis die voortgaat, en waaraan zij nu ook gaat deelnemen. De benoembare uiterlijke wereld is per definitie een wereld die we met anderen delen, en waar we samen met anderen vorm aan geven. En omdat wij taal ook gebruiken als hulpmiddel

¹⁸² In het antwoord op deze vraag volg ik de interpretatie door Susan Langer (1957, pp. 63-64) van Helen Kellers tekst.

¹⁸³ Piaget (1926) benoemt dit 'innerlijke leven' ook als 'autistic thought'. Deze laatste term vermijd ik hier om onterechte associaties met de later opgekomen pathologie van 'autisme' en 'autisme-spectrum' te voorkomen. Overigens, ook tegen de term 'droom-denken' kunnen bezwaren aangevoerd worden. Recent slaaponderzoek geeft de indruk dat 3 à 4 op de tienduizend mensen niet dromen (Draaisma, 2013, p. 28). Het is mogelijk dat het nachtelijke dromen om een andere verklaring vraagt dan het spontane innerlijke leven dat wij 'dagdromen' noemen.

¹⁸⁴ De opvatting, dat taal een onmisbare voorwaarde is voor dit 'gerichte denken', wordt vrij algemeen gedeeld onder taalwetenschappers en taalfilosofen. Zoals bijvoorbeeld Susan Langer; maar ook Emmanuel Levinas (Levinas, 1987a, pp. 237-239), die daarbij met instemming verwijst naar Merleau-Ponty.

voor gerichte vormgeving aan ons innerlijke leven, is ook ieders innerlijke wereld voortaan een wereld die wij deels met anderen kunnen delen¹⁸⁵.

6.b Twee dimensies van taal

Om nu de winst die taal ons te bieden heeft verder in kaart te brengen wil ik een onderscheiding in twee hoofd-dimensies van taal gebruiken. De onderscheiding die ik wil gebruiken werd aan het begin van de 20^e eeuw geformuleerd in Bubers *Ich und Du* (1966). Aan de verschillende persoonsvormen die talen onderscheiden (ik, jij, hij/het, ...) ontleent Buber de onderscheiding tussen twee radicaal verschillende soorten van relaties als grondslag van taal. Volgens deze onderscheiding is taal enerzijds gebaseerd op relaties tussen personen, die dankzij hun relatie betrokken zijn in een creatieve uitwisseling van betekenissen (*Ich-Du* relatie), en anderzijds op de relaties die de taalpartners hebben met de inhoud die zij in taal *bespreken* of *beschrijven* (*Ich-Es* relatie).

Bubers onderscheiding inspireerde vele denkers tot navolging, variatie, amendering, et cetera (Theunissen, 1965, p. 283). Ten behoeve van het hierboven genoemde 'in kaart brengen' zal ik nu Bubers onderscheiding combineren met Peirce's concept van 'symbolen' (als afgesproken tekens, in onderscheid van 'iconen' en 'indexen', zie pagina 373). In navolging van Peirce kan taal-als-proces beschouwd worden als (inter)actie die gericht is op communicatie (betekenis-uitwisseling) *via symbolen*. Omdat symbolen 'maakwerk' zijn moet een taalgebruiker vorm geven aan symboolconstructies (woorden, zinnen, e.d.) die geschikt zijn om te *bespreken* of te *beschrijven* wat de taalgebruiker wil kunnen communiceren. Zodoende geeft de taalgebruiker vorm aan taal-als-product. Dit product kan de taalgebruiker (op hetzelfde moment of later) als interface gebruiken ter wille van communicatie *over* de bedoelde inhoud. Daarnaast moet een taalgebruiker aan ditzelfde product ook een vorm geven die het geschikt maakt om als interface een gewenste communicatie-interactie *met* een partner (of partners) te bevorderen. Zodoende geeft de taalgebruiker vorm aan taal als interface ter wille van communicatie *met* een ander, of anderen.

Het bovenstaande samenvattend kom ik tot de volgende omschrijving van taal als interface: *Taal als interface is de symboolconstructie die gemaakt is en gebruikt wordt om over iets met een ander (anderen) te communiceren.*

De twee taaldimensies blijken bijvoorbeeld uit de twee radicaal verschillende functies die 'namen' kunnen vervullen (zie boven: "*everything has a name*"): wij gebruiken

¹⁸⁵ Hiermee stem ik in met de denkers die betogen dat het bestaan van anderen niet betwijfeld kan worden, omdat zowel mijn leven in mijn uiterlijke als in mijn innerlijke wereld voor een belangrijk deel op taal gebaseerd is, en taal vooronderstelt dat ik een wezen ben dat met anderen communiceert. Zie bijvoorbeeld *Der Andere* (Theunissen, 1965) voor een overzicht van de opkomst en ontwikkeling van deze opvatting in de 20^e-eeuwse filosofie.

namen niet alleen voor de zaken die in taal *besproken* of *beschreven* kunnen worden; maar wij gebruiken namen ook om een ander *aan* te spreken (of onszelf te laten aanspreken) als partner in communicatie.

De inhoudelijke dimensie van taal correspondeert met het concept van *intentionaliteit* dat aan de orde kwam in deel II (hoofdstuk 6, § 2.b; hoofdstuk 8). Toegepast op taal wordt met het begrip 'intentionaliteit' bedoeld dat de betekenis van een symbolische expressie in het algemeen gekenmerkt wordt door *inhoudelijk gerichte betrokkenheid*. De tweevoudigheid van inhoudelijke gerichtheid én betrokkenheid blijkt uit (zie hoofdstuk 6, § 2.b):

1. Een 'inhoud' waar de expressie naar verwijst, en waarover iets wordt uitgesproken (een oordeel, een waardering, een gevoel, ...).
2. De specifieke verschillige (niet neutrale) betrokkenheid die met name in het 'werkwoordelijke' van de expressie tot uitdrukking komt (voorstellen, beoordelen, waarderen, afwijzen, wensen, vrezes, ...).

De inhoudelijke dimensie van taal correspondeert ook met de traditionele subject-object onderscheiding. 'Objecten' zijn 'factoren' die *besproken* en *beschreven* kunnen worden. 'Subjecten' zijn de 'actoren' van het bespreken en beschrijven.

Tenslotte zij vermeld dat de betekenisuitwisseling eenzijdig kan zijn (monologisch), zoals bij een verbod of bevel, of wederkerig (dialogisch), zoals in een gesprek of bij samenwerking.

6.c **Winst (en behoud) bij bespreken en beschrijven**

Eerder in deze paragraaf werd betoogd dat we, vanaf onze geboorte, in onze zintuiglijke uitrusting al overgeërfde kwaliteitscriteria voor waarnemingen meedragen, zoals criteria voor scherpte en verenigbaarheid (pagina 482-484).

In het licht van verenigbaarheid is het onschatbare winstpunt van taal dat zij boven-individuele integratie van waarnemingen mogelijk maakt. Dankzij taal kunnen wij mensen onderling waarnemingen uitwisselen, toetsen en aanvullen. Dankzij taal kunnen wij rapportages van waarnemingen van verschillende waarnemers integreren in begrippen, en die begrippen weer integreren tot één samenhangende beschrijving van een object, een gebeurtenis of een proces. Vooral sinds de tijd dat wij die beschrijvingen ook vastleggen op schrift, of op andere wijze, kunnen die vastgelegde beschrijvingen weer als uitgangspunt genomen worden voor verdere aanvulling of verbetering, en in die zin gemeenschappelijk beheerd worden.

Daarnaast kan taal ook bijdragen aan het tweede criterium: de scherpte van details. Het uitwisselen van waarnemingen kan ook gebruikt worden om in taal steeds meer verfijnde nuances te onderscheiden. En die onderscheidingen in taal ondersteunen op hun beurt het onderscheidend vermogen van de zintuigen. Een bekend voorbeeld is het

vermogen van Eskimo's om, dankzij hun taal, aan allerlei details die anderen ontgaan, sporen in de sneeuw veel nauwkeuriger te 'lezen' dan anderen. In *Smilla's gevoel voor sneeuw* (Høeg, 1994) stelt dit bijzondere vermogen de hoofdpersoon in staat om een misdaad op te lossen.

Hierbij moet ik uiteraard niet vergeten dat het bovenstaande alleen opgaat voor die aspecten van onze ervaringen en waarnemingen die mededeelbaar zijn. Maar, binnen die beperking draagt taal in sterke mate bij aan precisie en integratie van waarnemingen, aan het onderscheiden tussen werkelijkheid en illusie, en zodoende aan het vertrouwen "dat ik zie wat ik denk dat ik zie" en "dat ik hoor wat ik denk dat ik hoor" (pagina 484).

Op pagina 484-486 betoogde ik dat *kennis* beschouwd kan worden als de in een geheugen opgeslagen opbrengst van leerprocessen. Daarom kunnen de hierboven genoemde, via taal gerealiseerde, uitwisselingen en verbeteringen van waarnemingen ook al getypeerd worden als verbetering van waarnemingen door interactie met kennis. Volgens de hier gehanteerde definitie van kennis zijn immers in taal opgeslagen waarnemingen al een vorm van kennis, temeer wanneer die opgeslagen waarnemingen op grond van één of andere vorm van samenhang geïntegreerd zijn.

Wanneer die integratie als doel heeft om een samenhangend resultaat van waarnemingsopbrengsten te bieden, dat zo weinig mogelijk beperkingen oplegt aan het gebruik, dan is er sprake van een toepassingsneutrale 'beschrijving', een 'kaart', ofwel expliciete 'know-what'.

Wanneer die integratie erop gericht is om waarnemingen samen met andere handelingen in taal vast te leggen als elementen van een doelgerichte handelwijze, dan is er sprake van een expliciete 'handleiding', ofwel expliciete 'know-how'.

Opnieuw is het een onschatbare winstpunt, dat taal voor deze beide vormen van kennis bovenindividuele integratie en accumulatie mogelijk maakt. Mensen kunnen in taal vastgelegde 'handleidingen' en 'kaarten' onderling uitwisselen, van elkaar gebruiken, corrigeren, verbeteren, uitbreiden, et cetera. Zonder veel verdere toelichting zal het duidelijk zijn dat het vermogen om kennis in taal vast te leggen, en om met behulp daarvan steeds complexere producten, complexere handelwijzen, complexere technologie, en complexere kennis voort te brengen, een essentiële rol speelt in de ontwikkeling van menselijke cultuur.

Ook hierbij moet niet vergeten worden dat niet alle kennis in taal wordt vastgelegd, of in taal kán worden vastgelegd. Onderzoekers heb ik bijvoorbeeld van tijd tot tijd horen zeggen dat zij de finesses van onderzoek niet uit een boek geleerd hebben, en dat het ook onmogelijk is om die finesses uit een boek te leren. Junior-onderzoekers moeten die finesses leren door onderzoek te *doen*, door onderzoek letterlijk 'mee te maken' onder (bege)leiding van senior-onderzoekers, van wie zij 'de kunst kunnen afkijken'. Dit is ook mijn ervaring, en het komt overeen met ervaringen binnen tal van 'ambachten'. Het oude leerling-gezel model van kennisdelen is voor belangrijke aspecten van vele opleidingen nog steeds onmisbaar.

De waarheid van kennis werd hierboven beschouwd als een kwaliteitskenmerk van kennis, van zowel know-what als know-how, en afgemeten aan vruchtbaarheid voor wederzijdse verbeterprocessen tussen kennis waarnemen en handelen, en zodoende ook afgemeten aan bevestiging van het vertrouwen op correspondentie met de werkelijkheid van menselijk waarnemen en handelen (pagina 487).

Werkelijkheid en fictie

Taal kan echter ook een andere functie vervullen dan het zo waarheidsgetrouw mogelijk beschrijven van werkelijkheid. Het gegeven dat wij ons leven en onze wereld kunnen 'verdubbelen' in een beschreven wereld, heeft mensen al vroeg op het idee gebracht dat wij ook de 'artistieke vrijheid' kunnen nemen om in onze beschrijvingen vorm te geven aan een wereld die wij verzinnen. Deze mogelijkheid is natuurlijk in principe ook al gegeven in het vermogen om ervaren werkelijkheid te 'verdubbelen' in de representaties daarvan ('kaarten', 'handleidingen') in het interne geheugen. Daarom beschikken ook veel dieren over het vermogen om te anticiperen op mogelijke beloningen of gevaren, en met mogelijkheden te spelen. Maar, bij mensen brengt het gebruik van taal als interface een aanzienlijke uitbreiding en versterking van de mogelijkheden om te spelen met werkelijkheid en fictie. Het 'spelen' houdt in dat we een ervaring net zo vaak kunnen herhalen als wij willen, maar dat we hem ook naar believen kunnen veranderen, inclusief het eigen handelen. Als ik mij bijvoorbeeld door een arrogante collega heb laten intimideren, dan kan ik in mijn fantasie aan mijzelf vertellen hoe ik hem een volgende keer van repliek ga dienen, en hoe hij dan in zijn schulp zal kruipen.

Het spelen in een innerlijke fantasiewereld staat uiteraard in een vruchtbare wisselwerking met spelen in de werkelijke wereld. Voor het handhaven van de creatieve spanning tussen 'alsof' en 'echt' is het van belang dat het verschil tussen de werkelijke- en de fantasiewereld duidelijk blijft. Kinderen gebruiken vaak spontaan de verleden tijd om dit verschil duidelijk te maken: "toen was jij ... en ik was ...". In zijn *Homo Ludens* blijkt Huizinga (1952) zich er helder van bewust te zijn dat ook dieren spelen, in de zin van 'doen alsof', maar het is hem ook duidelijk dat de talige vorm van denken en fantaseren, de mogelijkheden van dit spelen wezenlijk verruimt¹⁸⁶. In het mensenleven komt daar nog bij, dat taal ons toegang verschaft tot nog veel meer fantasiewerelden dan alleen die van onszelf. Via mondeling vertelde verhalen, via romans, via toneel of ballet, via films, en via computergames maken we kennis met vele fantasiewerelden. Ook met behulp van die kennismakingen kunnen we onze eigen fantasiewereld aanzienlijk verruimen, en

¹⁸⁶ Huizinga liep met dit inzicht voor op de biologie van zijn tijd. Pas later werd zijn intuïtie op dit punt door biologen bevestigd. Goldschmidt (2008) voert als bioloog in zijn Huizingalezing vele voorbeelden van die bevestiging aan, en ziet de mogelijkheid van mensen om zelfs 'te doen alsof je doet alsof' (zoals in Shakespeare's toneelstuk *Hamlet*, waarbinnen een ander toneelstuk wordt opgevoerd), als voorbeeld van een resultaat dat alleen mensen kunnen bereiken, dankzij hun taalvermogen.

zodoende ons repertoire verrijken om te spelen. Bovendien doen we de ervaring op dat niet alleen een groot deel van onze werkelijkheden maar ook van onze ficties, dankzij de taal, een bovenindividueel karakter hebben.

Maar, naast dit bovenindividuele karakter heeft onze eigen innerlijke mengeling van werkelijkheid en fictie natuurlijk ook een individueel privé-karakter. Piaget (1926) beschrijft dat kinderen, in de begintijd van de ontwikkeling van hun denk- en taalvermogen, hun innerlijke leven nog niet als een privé-domein beschouwen. Zij beginnen met hardop denken en leren pas later om te denken zonder hardop te praten. De ontdekking dat zij met het denken de beschikking krijgen over een eigen privé-wereld, waarvan zij zelf de toegang kunnen bewaken, komt wanneer zij 'stil' kunnen denken. Dan krijgt het begrip 'geheim' pas betekenis. In de pubertijd kunnen zij daar goed gebruik van maken, omdat zij dan fantasieën of verliefdheden, waarin zij zich kwetsbaar voelen, voor zich kunnen houden, en alleen met enkele vertrouwelingen kunnen delen. En, nog weer later, worden volwassenen vaak nog vernuftiger in het afschermen van hun innerlijk leven, en om naar buiten toe alleen te laten zien wat gezien mag worden.

Het kan paradoxaal klinken dat fictie aan waarheid ten goede kan komen. Om te illustreren dat fictie, met gebruikmaking van taal als interface, wel degelijk winst kan opleveren voor waarheidsvinding, zet ik hier enkele voorbeelden op een rij:

Een belangrijk winstpunt van het in taal formuleren van fictie is, dat wij, naast beschrijvingen van de wereld zoals die is, ook *mogelijkheden* kunnen beschrijven. Natuurlijk zullen veel gefantaseerde mogelijkheden niet realiseerbaar zijn, maar enkele mogelijkheden kunnen wel realiseerbaar blijken. Om op het idee van die realiseerbare mogelijkheden te kunnen komen moet er eerst de speelruimte zijn geweest om vrij over mogelijkheden te fantaseren. Zodoende realiseren onze ficties een eerste voorwaarde om in een volgende fase, waarin kennis van en ervaring met de echte wereld wél in het geding wordt gebracht, mogelijkheden van de uiterlijke wereld te verkennen, en te ontdekken welke waar gemaakt kunnen worden, en welke illusoir blijken te zijn¹⁸⁷.

Een ander winstpunt van het in taal uitwisselen van gefantaseerde levens en werelden is, dat ik kan leren dat de manier waarop ik mijn leven beleef niet de enige is. Meerdere auteurs betogen dat het vermogen om te fantaseren er in belangrijke mate aan bijdraagt dat we ons in anderen kunnen inleven. Door onze eigen belevingen fictief te transformeren kunnen we proberen om de belevingen van een ander te benaderen. Daarom kan de oefening van dit vermogen door kennisname van verhalen, romans, toneelstukken of films, ook bijdragen aan de ontwikkeling van een ruimdenkend inle-

¹⁸⁷ Dankzij taal kan een eerste experiment op symbolisch-fictief niveau worden uitgevoerd. Denk bijvoorbeeld aan de methode, die in de techniek gebruikelijk is, om een nieuw idee eerst via een computersimulatie te testen. Daarnaast kunnen in taal ook experimenten uitgevoerd worden die in de uiterlijke wereld onuitvoerbaar zijn. Denk aan de methode van het 'gedachtenexperiment' waarvan in deel II (hoofdstuk 6, § 2.c), in de vorm van de 'Chinese kamer', een voorbeeld is beschreven.

vingsvermogen¹⁸⁸. Natuurlijk vragen onze fictieve projecties ook altijd nog om nadere toetsing, maar ons vermogen tot fictieve transformatie realiseert wel een eerste voorwaarde om tot besef van, en enig begrip voor, de werkelijkheid van de ander te komen.

Een derde winstpunt is de mogelijkheid tot reflectie op mijn eigen handelen en mijn motieven daarbij. Het is waarschijnlijk de ontdekking dat anderen mij 'van buitenaf' kunnen bespreken en beschrijven, dat ik ontdek dat ik in mijn fantasie ook afstand kan nemen van mijzelf en *over* mijzelf kan nadenken¹⁸⁹. Reflectie is mijzelf beschouwen, als het ware via een spiegel, of als het ware vanuit de ogen van een ander. Op grond van die reflecties kan ik op den duur, dankzij taal, mijn levensverhaal en een zelfbeeld ontwikkelen. Tenslotte vormt die hele voorafgaande ontwikkeling een onmisbare voorwaarde om mijn zelfbeeld te kunnen bespreken met anderen, en te kunnen aanvullen en verbeteren met behulp van de beelden die anderen van mij hebben. Zodoende is taal als interface een belangrijk hulpmiddel om waarheid over mijzelf te benaderen, en illusies over mijzelf op te geven.

Uit het voorgaande volgt ook als winstpunt, dat ik met behulp van taal mijn algemene 'mensenkennis' kan formuleren, en kan aanvullen en verbeteren met de mensenkennis die anderen hebben opgedaan. Niet alleen in gesprekken, maar uiteraard ook door gebruik te maken van alle ervaringen, onderzoek en denkwerk dat auteurs hebben vastgelegd in wetenschappelijke en filosofische werken, maar ook in romans, toneelstuk-

¹⁸⁸ Zoals bijvoorbeeld betoogd wordt door Martha Nussbaum (1995), en besproken door Simone van der Burg, die van Nussbaum citeert (2007, p. 198): "*My central subject is the ability to imagine what it is like to live the life of another person who might, given changes in circumstance, be oneself or one of one's loved ones*".

¹⁸⁹ Bij Buruma & Blijd-Hoogewys (2010) vond ik een overzicht van onderzoek naar de ontwikkelingen die bij jonge kinderen leiden tot besef van intentionele innerlijkheid bij anderen en bij zichzelf. Uit dit overzicht komt het beeld naar voren, dat jonge kinderen in en uit de interactie met een volwassene in de periode van 9-12 maanden ongeveer tegelijk 'triadische Joint Attention' (het verdelen van aandacht tussen zichzelf, een ander, en een object) leren én de eerste principes van taal verwerven. Op basis daarvan leren kinderen daarna zowel zichzelf als anderen te zien als intentionele wezens (ontwikkelen zij een eerste vorm van 'Theory of Mind'). Vanaf hun tweede jaar (tot na hun derde jaar) leren kinderen op grond van het voorgaande om te spelen *met* andere kinderen, in plaats van alleen *naast* andere kinderen te spelen.

Op de vraag, wat het eerste is, besef van eigen intentionele innerlijkheid of besef van intentionele innerlijkheid van anderen, moet waarschijnlijk het antwoord zijn dat dit dilemma vals is. Omdat het besef van intentionele innerlijkheid opgedaan wordt uit interactie die een dialogisch karakter heeft (zie hierna), komen de twee polen daarvan waarschijnlijk samen op en voeden zij elkaar.

ken, films, et cetera¹⁹⁰ (zoals ik hiervoor al noemde). Zo kan taal helpen om ook op het gebied van algemene mensenkennis waarheid te zoeken, en illusies over mensen op te geven.

Tenslotte noem ik als winstpunt, dat het vermogen om in taal én in handelen te onderscheiden tussen werkelijkheid en kennis, wereld en wereldbeelden, waarheid en illusie, vermoedelijk nauw samenhangt met het reflectieve besef van onze onuitroeibare neiging om in taal werkelijkheid te verdubbelen en aan te vullen met fictie.

Fysische modellen als interfaces

Ook fysisch onderzoek concentreert zich op het bespreken en beschrijven van onderwerpen die zich daartoe lenen. Daarom hoort fysisch taalgebruik thuis in het grote toepassingsgebied van taal als interface voor bespreken en beschrijven, waarvan ik hierboven enkele contouren heb geschetst. Binnen dit gebied neemt de fysica haar eigen plaats in door middel van een aantal inperkingen. Inperkingen, die zowel de symboolconstructies betreffen die gebruikt worden om kennis over fysische verschijnselen vast te kunnen leggen (fysische modellen, 'kaarten'), alsook het gereguleerde onderzoeks-taalspel waarin bepaald is hoe deze symboolconstructies gemaakt en gebruikt moeten worden (deels ook in taal vastgelegd, 'handleidingen'). Om die eigen plaats van fysische modellen binnen dit grotere geheel in beeld te krijgen zal ik hier recapitulieren op welke inperkingen fysische modellen gebaseerd zijn:

1. In de eerste plaats zijn fysische modellen gebaseerd op inperking tot waarnemingen van 'primaire kenmerken', en dus ook tot de taal van zichtbaarheid en tastbaarheid.
2. Bovendien worden waarnemingen van primaire kenmerken ingeperkt tot die waarnemingen die door dezelfde en door andere waarnemers *herhaald* kunnen worden. Eenmalige waarnemingen worden genegeerd. Bovendien vereist dit dat het object van onderzoek zodanig geïsoleerd of gezuiverd wordt dat het herhaalbaar geïdentificeerd en waargenomen kan worden (pagina 331).
3. Ieder waargenomen kenmerk moet bovendien *meetbaar* zijn, ofwel in te schalen als specifieke 'waarde' van een generiek kenmerk, af te meten aan een uniforme standaard. Onregelmatigheden of bijzonderheden die niet op deze wijze inschaalbaar zijn worden 'verwaarloosd'. Op deze wijze wordt de taal waarin kenmerken beschreven worden ingeperkt tot de 'variabelen-taal'.

¹⁹⁰ Van de passie om mensen te willen begrijpen getuigt de bekende uitspraak die Jeanson (1955) als motto meegaf aan zijn boek over Sartre: "*J'ai la passion de comprendre les hommes*". Sartre is bovendien een voorbeeld van de wijsgerige auteurs die het belangrijk vonden, en vinden, om mensenkennis niet alleen neer te leggen in de conceptualiserende vorm van een filosofisch betoog, maar ook in andere literaire genres zoals romans, toneelstukken en gedichten.

4. Zodoende worden de 'systemen' die object van onderzoek kunnen zijn in feite ingeperkt tot 'generieke objecten', en worden concrete systemen die voorwerp van onderzoek zijn alleen beschouwd als instanties van een generiek object.
5. De vaste samenhangen tussen variabelen, aan de hand waarvan een fysisch systeem geordend beschreven kan worden, worden ingeperkt tot samenhangen tussen een *eindig* aantal variabele kenmerken van het object van onderzoek. Deze vaste samenhangen tussen een eindig aantal variabelen heten *invarianties* (pagina's 334 en 433).
6. De voorgaande inperkingen scheppen de voorwaarden die het mogelijk maken dat ontdekte gevolgijskheden ingeperkt kunnen worden tot samenhangen die een formeel mathematische beschrijving toelaten. Deze inperking impliceert dat uit een fysisch model op 'machinematig-formeel-recursieve' wijze resultaten (conclusies) afgeleid kunnen worden.
7. De 'waarheid' van een model is in principe ingeperkt tot de toetsbaarheid via een fysisch experiment. Dit impliceert dat uit een model voorspellingen afgeleid moeten kunnen worden, die experimentele toetsing toelaten. Zolang de toetsingen het model bevestigen geldt het als waar. In feite kleeft er dus voorlopigheid aan de waarheid van ieder model. Een model is voorlopig waar totdat eventueel het tegendeel experimenteel aangetoond wordt. Wanneer verschillende modellen experimentele toetsing doorstaan dan geldt het mathematisch meest eenvoudige model (voorlopig) als het meest plausibele model.
8. Tenslotte moet genoemd worden dat de fysica de invariante gevolgijskheden of samenhangen die een geordende beschrijving toelaten inperkt tot 'synthetische gevolgijskheid' en 'recursieve gevolgijskheid' (o.a. pagina's 343 en 357). Zoals ik heb betoogd impliceert deze inperking dat afgezien wordt van alle functionaliteit, finaliteit en betekenis (pagina 371-374).

Deze inperkingen hebben de fysica ook veel winst opgeleverd. In reactie op de richtvraag van pagina 496 zal ik deze winstpunten nu samenvatten.

- De inperking tot observaties van primaire kenmerken die herhaalbaar moeten zijn levert de winst op dat alle observatoren het over geobserveerde *feiten* eens kunnen worden, of zelfs (door de strenge regels van het taalspel) tot eensgezindheid gedwongen kunnen worden.
- De inperking om specifieke observeerbare kenmerken alleen als instantie te zien van algemene kenmerken, en om alleen generieke samenhangen van generieke objecten van onderzoek te beschrijven, levert als winstpunt op dat fysische kennis ook generiek van aard is, en dus van toepassing op alle instanties van een eenmaal bekende samenhang. In termen van de kaarten-metafoor: het aantal van de feitelijke gegevens die uit een model of theorie afgeleid kunnen worden overtreft verre het aantal van de feitelijke gegevens die de aanleiding vormden om model of theorie te formuleren (pagina 473).
- De inperking tot het zoeken en vinden van invarianties, vaste samenhangen tussen een eindig aantal veranderlijke kenmerken van een object (waar kenmerken van

observatie of observator dus niet toe kunnen behoren) levert als winstpunt op, dat de kennis van een eindig aantal aspecten voldoende is om een vaste samenhang te kennen, en dat veranderlijke kenmerken van observatoren en observatie daar geheel buiten staan.

Deze inperking levert bovendien de winst op dat fysische kennis in grote mate context-onafhankelijk is. De objecten van de fysica zijn wel systemen-in-omgeving, maar ook van die omgeving zijn nooit meer dan een eindig aantal kenmerken relevant. Aan de overige irrelevante kenmerken van context of omgeving hoeft geen aandacht besteed te worden.

- De inperking tot modellen als mathematisch formuleerbare symboolconstructies levert als winst op dat het afleiden van consequenties volkomen persoonsonafhankelijk (letterlijk of figuurlijk machinematig) is. Hierdoor kunnen ook alle onderzoekers het over de waarheid van toetsingen of voorspellingen eens worden (of tot eensgezindheid gedwongen worden). Waarheid krijgt het karakter van bewijsbare of afdwingbare *evidentie*.
- De inperking van fysisch onderzoek tot mechanismen en machinematige deducties blijkt ook de voorwaarde gerealiseerd te hebben om de menselijke zintuiglijkheid en rekenkracht uit te breiden met behulp van geavanceerde 'verlengstukken' (ook interfaces) die zó geconstrueerd zijn dat zij net als mechanismen functioneren. Zodoende kan de fysica gebieden betreden die buiten het bereik van 'gewone' menselijke zintuiglijkheid, voorstelbaarheid en rekenkracht liggen. Ook al worden de bijbehorende modellen zodoende steeds abstracter en onvoorstelbaarder, op het niveau van de zintuiglijk waarneembare kenmerken van het experiment blijft objectieve toetsbaarheid gehandhaafd.
- De inperking van fysisch onderzoek tot invarianties of mechanismen bewerkstelligt ook dat fysische kennis toepassingsneutraal is. Deze vorm van kennis impliceert wel de macht om mechanismen/invarianties te gebruiken voor het maken van instrumenten en het bereiken van effecten, maar bevat geen enkele aanwijzing voor functies, doelen of betekenissen die daarmee gediend zouden moeten worden. Men kan deze inperking beschouwen als winstpunt voor gebruikers, omdat de wetenschap geen beperkingen oplegt aan het gebruik.

Fysische kennis blijft antropocentrisch

Het lijkt mij goed om op dit punt van mijn betoog vast te stellen dat het volgen van Polanyi's benadering (die in het verlengde ligt van Sizoo's benadering) tot de conclusie leidt dat fysische kennis, ook al gaat zij nog zo ver en ook al is zij voor mensen nog zo dwingend, *een antropocentrisch karakter heeft* (1973, pp. 4-5). Fysische kennis (en haar waarheidsgehalte) blijft gebonden aan het menselijke belang van de onderlinge bevestiging en verbetering van menselijk waarnemen, menselijke kennis en menselijk handelen (pagina 487). Het uitbreiden van menselijke zintuiglijkheid en menselijke rekenkracht via geavanceerde 'verlengstukken' van materiële of symbolische aard, die ook weer menselijke artefacten zijn, kan daar niets aan veranderen.

6.d Winst bij dialoog

Naast het gebruik van taal als interface bij *bespreken* en *beschrijven*, functioneert taal ook als interface tussen taalgebruikers wanneer zij elkaar *aanspreken*. Er zijn vele soorten van communicatie, relaties en taalspelen waarin dit aanspreken een rol speelt. Vanwege het thema van deze paragraaf (fysica en waarheid) wil ik mij hier concentreren op de communicatie die in dienst staat van creatieve samenwerking door fysici aan het kritisch verbeteren van het waarheidsgehalte van fysische kennis. Wanneer in die samenwerking en in die communicatie de creativiteit van de één ten goede komt aan die van de ander en omgekeerd, dan kan men de kwaliteit van die communicatieve samenwerking 'dialogisch' noemen. Het is natuurlijk duidelijk dat de werkelijkheid lang niet altijd aan die kwaliteit beantwoordt, en soms maar zeer ten dele, ook in de fysische onderzoeksgemeenschap. Communicatieve samenwerking die ten dele tegemoet komt aan het dialogische kwaliteitscriterium, en die in dit geval in dienst staat van het kritisch verbeteren van fysische kennis, zal ik hierna korthedshalve aanduiden als 'dialoog'.

In het nu volgende gedeelte gaat het mij om de vraag, *hoe mensen taal kunnen inzetten als interface ten behoeve van dialoog, en welke winst het gebruik van deze interface hen (in het bijzonder fysici) dan kan opleveren*.

Voor een eerste antwoord op die vraag kan ik teruggrijpen op de visies op het dialogisch aanspreken van De Boer (1980) en Smedslund (2009), die in deel II (hoofdstuk 8, § 2) al aan de orde kwamen.

Deze auteurs verbinden beiden het *aanspreken* met een verwachtingsvolle *houding* van de spreker. Een houding, waaruit de verwachting spreekt dat er tussen de gesprekspartners een dialogische *verhouding* tot stand komt die, zoals De Boer formuleert (1980, pp. 78-79), anders is dan de relatie met een proefpersoon, met een student die tentamen doet, of met de ondervraagde in een kruisverhoor. Die verwachting spreekt vooral uit de houding waarmee de één de ander benadert, en hoeft dan meestal niet expliciet verwoord te worden¹⁹¹. Zowel Smedslund als De Boer doen echter pogingen om de impliciete verwachting expliciet (c.q. bespreekbaar) te maken.

Smedslund formuleert die verwachting in algemene zin als verwachting van een 'menschelijkheid', waarvan wij allen de fundamentele kenmerken kennen '*because we are human*' (2009, p. 779). De Boer geeft van die fundamentele kenmerken, die hij benoemt als postulaten van de dialoog, een grondiger verantwoorde uitwerking (1980, pp. 78-101), die als volgt samengevat kan worden:

- *Intentionaliteit*: de ander heeft iets te zeggen over iets, vanuit ervaring in de eerste persoon.
- *Integriteit*: de ander is eerlijk, heeft geen verborgen bijbedoelingen.

¹⁹¹ Het gemis van een dialogische houding, of teleurstelling daarin, geeft eerder aanleiding tot explicitering.

- *Rationaliteit*: de ander is zelf verantwoordelijk voor wat hij zegt en doet; de ander is toerekeningsvatbaar.
- *Uniciteit*: de ander is een onvervangbaar-unieke bron van informatie, betekenis en daden; zijn verrassende reacties op mijn aanspreken kan ik niet anticiperen.
- *Authenticiteit*: de ander is zelf tegenwoordig als persoon, en reageert niet vanuit een voorgeschreven rol, of als spreekbuis van één of andere autoriteit.

Uit deze uitwerking blijkt dat het bij deze 'mensenkennis' niet gaat om empirische feitenkennis, maar om de verwachting van bepaalde *kwaliteiten* van menselijkheid. Waar komen deze verwachtingen vandaan? In antwoord op deze vraag kan men vermoeden dat mensen die anderen vanuit dergelijke verwachtingen aanspreken, dit doen op grond van voorafgaande ervaringen van dialoog waarin zij deze kwaliteiten (in meer of mindere mate) hebben ervaren. De positieve ervaring met de bijzondere interacties, die deze kwaliteiten bij mensen oproepen en versterken, kan het *verlangen*¹⁹² wekken om met nieuwe ervaringen de eerdere ervaringen te verdiepen, en de ervaren kwaliteit verder te verbeteren. De Boer karakteriseert deze verwachtingen als postulaten, en Smedslund als axioma's, omdat het niet gaat om empirische kennis, maar om bij-voorbaat levende verwachtingen ('hoop' is wellicht een betere term), die als houding nodig zijn om een gesprek of samenwerking met 'dialogische kwaliteit' mogelijk te maken. De Boer karakteriseert deze verwachtingen ook als 'contrafactisch', wat zoveel wil zeggen als: 'verwachten totdat het tegendeel blijkt'. In andere woorden kan dit ook vertaald worden als: het geven van *een voorschot aan vertrouwen*¹⁹³.

In een dialoog gaat het er natuurlijk niet om, om dit voorschot aan vertrouwen te bespreken of te analyseren, maar om het in te zetten (als geïntegreerde en onbewuste vaardigheid; Polanyi), ten behoeve van het aanspreken en zich laten aanspreken. Wat de partners daarvan kunnen merken aan de taal die als interface gehanteerd wordt zal dus niet primair herkenbaar zijn aan uitspraken *over* vertrouwen, maar aan andere kenmerken. Welke kenmerken kunnen dat zijn?

Een antwoord op deze vraag kan gezocht worden door bij een tegenvoorbeeld te beginnen. Wanneer iemand bijvoorbeeld over een onderwerp alleen gesloten vragen stelt, dan kan dit communiceren dat de één op zijn hoogst enkele bijzonderheden van de

¹⁹² Met dit gebruik van de term 'verlangen' sluit ik aan bij het onderscheid tussen 'behoefte' en 'verlangen' van Levinas. Levinas onderscheidt tussen 'behoefte' en 'verlangen' als volgt (1987a, pp. 29-31; 1987b, p. 74): wanneer een behoefte gefrustreerd wordt, dan wordt zij sterker; en de vervulling van behoefte doet de behoefte uitdoven. Bij 'verlangen' is dat precies omgekeerd: vervulling voedt het verlangen als het ware met hoop en doet het toenemen; bij langdurig gebrek aan vervulling kan een verlangen 'de hoop opgeven' en uitsterven. Een ander belangrijk verschil is, dat de behoeftige *weet* waaraan hij behoefte heeft, terwijl het verlangen juist uitgaat naar wat de verlangende mens *niet* kan weten.

¹⁹³ Waar met name kinderen indrukwekkende voorbeelden van kunnen geven.

ander nodig heeft om de informatie die de ander geeft in bij voorbaat vaststaande categorieën te kunnen inschalen. Dergelijke taal communiceert de houding die ten grondslag ligt aan een kruisverhoor, aan een examen, aan een diagnose die alleen dient om de patiënt bij een diagnose-behandel-combinatie (DBC) onder te brengen, of aan een ander onderzoek waarbij de ander alleen maar *object* van onderzoek is.

Daartegenover staat de houding die ten grondslag ligt aan oprecht gemeente open vragen. De openheid communiceert de uitnodiging om een bijdrage te geven die de vrager kan verrassen¹⁹⁴. Wanneer het gaat om het samen zoeken naar waarheid, dan vormen open vragen een geschikte interface voor het samenwerken aan de creatieve aspecten van dit zoeken naar waarheid. De antwoorden geven dan, als het goed is, uitdrukking aan het commitment om 'naar persoonlijk beste weten' te reageren, en om die antwoorden aan de gemeenschappelijke taak ten goede te laten komen. Bovendien zal de antwoorder geen 'laatste antwoorden' geven omdat hij de ander wil blijven uitnodigen tot creativiteit. Het gaat er immers om, om de fysische werkelijkheid in zijn onuitputtelijke rijkdom steeds beter te leren kennen. Bij dit alles gaat het niet om dogmatische toepassing van richtlijnen of verboden, zoals 'geen gesloten vragen' en 'geen conclusies'. Het gaat erom dat de partners, in de gebruikte taal¹⁹⁵, ruimte creëren die door de ander ingevuld kan worden.

De winst die het gebruik van open-vraag-en-antwoord-taal als interface voor dialoog kan opleveren is vooral bij de creatieve aspecten van het zoeken naar waarheid te behalen. Natuurlijk kan een waarheidszoeker er ook voor kiezen om in eenzaamheid op zijn individuele creatieve intuïtie te vertrouwen en daarbij alleen met zichzelf in gesprek te gaan. Maar, omdat het vermogen om 'met zichzelf in gesprek gaan' een afgeleide is van het vermogen om taal als interface te gebruiken voor communicatie met *anderen*, blijven dialogische interacties essentieel en onmisbaar.

Naast de inhoudelijke winst voor het zoeken naar waarheid is een minstens even belangrijke winst gelegen in de inspirerende ervaring dat de creativiteit van de één ten goede komt aan die van de ander en omgekeerd, in plaats van ten koste te gaan van de creatieve mogelijkheden van de ander, zoals -helaas- vaak het geval is.

7 EERSTE REACTIE OP DE TWEDE LEERLINGVRAAG

In het voorafgaande is een benadering van waarheid beschreven, die voor mij de achtergrond zou vormen wanneer ik nu op de tweede leerlingvraag van pagina 470 zou willen reageren. Tegen die achtergrond zou ik nu een reactie kunnen geven die neerkomt op:

¹⁹⁴ Die verrassing hoeft uiteraard niet bevestigend te zijn, maar kan ook kritisch, confronterend of ontkenkend zijn.

¹⁹⁵ En, uiteraard, ondersteund door de non-verbale signalen, zoals intonaties, blikken, gebaren, houdingen, die de verbale taal begeleiden.

De natuurkunde en de scheikunde *kunnen* helemaal niet beweren wat jullie vragen. Deze vakken beperken zich namelijk expres tot een taal (waar jullie ondertussen ook kennis mee gemaakt hebben) waarin helemaal geen uitspraken gedaan *kunnen* worden over wat er wel en wat er niet zinvol is. Deze vakken beperken zich tot een taal waarin feiten en formules geformuleerd worden, waarvan we in hoge mate zeker zijn omdat zij nauwkeurig en objectief te controleren zijn, zonder ook maar iets te zeggen, of voor te schrijven, over de doelen waarvoor je die kennis zou kunnen gebruiken. De kennis van deze vakken kan daarom, zoals wij allemaal weten, net zo goed voor slechte als voor goede doelen gebruikt worden. Op vragen naar goed en kwaad, of naar nuttigheid en zin, geven deze vakken geen enkel antwoord. Die antwoorden laten zij over aan de gebruikers van hun kennis.

Het is dus *niet* waar dat de natuurkunde en scheikunde beweren dat het leven geen enkele zin heeft. Over de vraag naar de zin van wat dan ook beweren zij helemaal *niets*.

Maar, een natuur- of scheikundige is iemand die zelf ook de kennis van deze vakken gebruikt. Bijvoorbeeld om die kennis verder te ontwikkelen, of, in het geval van een leraar, om leerlingen in die kennis in te wijden. Als 'vakmens' kan een schei- of natuurkundige zich bovendien extra betrokken voelen bij de vraag, of de kennis van zijn vak in de maatschappij voor goede of slechte doelen gebruikt wordt, of in de toekomst gebruikt kan worden. Daarom is het, naar mijn overtuiging, voor een natuur- of scheikundige belangrijk om niet alleen na te denken over de zin van het leven in het algemeen, maar vooral over de vraag wat het voor hem of haar persoonlijk zinvol maakt om (als leraar of als onderzoeker) mee te werken aan de ontwikkeling van deze vakken.

Omdat ik het zelf belangrijk vind om na te blijven denken over de vraag wat voor mij fysica zinvol maakt, wil ik daar graag ook met jullie over praten. Niet om mijn mening aan jullie op te leggen, maar omdat het voor ons allemaal goed is om over deze vragen na te denken. Natuurlijk kunnen jullie voor jezelf tot andere conclusies komen dan ik. Voor de één is fysica zinvol, voor een ander hoogstens nuttig, en voor een derde is het een noodzakelijk kwaad waar je je doorheen moet slaan. Het lijkt mij goed als je voor jezelf weet hoe je er tegenover staat.

Als eerste aanzet voor ons gesprek wil ik graag zeggen dat ik de voorbeelden die jullie in de vraag noemen mooie voorbeelden vind. Vriendschap, liefde en muziek zijn ook voor mij ervaringen die mij een gevoel van 'zin' kunnen bezorgen. Niet altijd en niet automatisch, maar soms heel duidelijk. Dan ervaar ik in vriendschap, of in liefde, of in muziek een diepe voldoening, die mij het gevoel bezorgt dat ik weer weet waarom het leven de moeite waard is. Voor die ervaringen ben ik dan ook heel dankbaar. Dankbaar omdat deze ervaringen mij 'iets' geven dat mij inspireert. Dat 'iets' dat noem ik dan 'zin' en die ervaringen noem ik daarom 'zingevende ervaringen'. Natuurlijk kunnen niet alleen mooie ervaringen mij duidelijk maken dat ik niet voor niets leef. Ook kritische, pijnlijke of verdrietige ervaringen kunnen inspirerend en zingevend zijn.

Wat mij betreft is het heel belangrijk dat wij al die ervaringen serieus nemen en daarvan leren. Daarom wil ik graag met jullie in gesprek over zingevende ervaringen.

Tot zover deze denkbeeldige reactie op de tweede leerlingvraag. Hierna vervolg ik weer het schetsen van een achtergrond van waaruit –vooral in gesprek met leerlingen- gereageerd kan worden op de vraag naar de zin van fysica. Die achtergrondsheets is uiteraard weer bedoeld als bijdrage aan gesprekken met pedagogische (op)leiders en collega-onderzoekers.

HOOFDSTUK 15

Fysica, zingevende ervaringen, vorming

Om de overgang naar dit nieuwe hoofdstuk te markeren worden nu eerst de drie 'rode draden' van het vorige hoofdstuk in herinnering geroepen.

De eerste rode draad betrof de vraag naar de invloed die fysische wetenschap kan uitoefenen op natuur-, mens- en wereldbeelden. In vervolg op het afscheid van essentialistische opvattingen werd een mensbeeld getekend, waarbij de mens als 'taal-dier' tot de natuur blijft behoren, *met* andere mensen *over* aspecten van natuur kan denken en spreken, en zodoende specifieke vormen van kennis kan ontwikkelen. Tegen die achtergrond bleek fysische kennis, met zijn winstpunten en beperkingen, gepositioneerd te kunnen worden als betrekkelijk 'mensenwerk'. Met deze conclusie werd deze rode draad voorlopig afgerond.

De tweede rode draad betrof de kennispretenties van fysische wetenschap. De keuze voor een middenweg tussen subjectivisme en objectivisme fungeerde als richtlijn bij het volgen van deze draad. Een voorlopig eindpunt werd bereikt in de visie op fysische modellen als symbolische interfaces, die op een beperkt gebied kenniswinst opleveren, ten koste van kennisontwikkeling op andere gebieden.

De derde rode draad betrof het filosoferen met leerlingen over fysica, als één van de mogelijkheden voor het ondersteunen van vorming bij leerlingen. Deze ondersteuning vraagt van de leraar dat deze werk maakt (en heeft gemaakt) van zijn eigen filosoferen over fysica. Het volgen van deze rode draad kwam uit bij een mogelijke leraars-reactie op de eerste leerlingvraag en een incomplete reactie op de tweede leerlingvraag.

Als voorbereiding op een meer complete reactie, is de eerste rode draad van het huidige hoofdstuk een reflectie op de vraag naar de positief inspirerende en de negatief inspirerende ervaringen, die voor fysici zin kunnen geven aan de beoefening van hun discipline. Deze vraag leidt voor 'pedagogische leraren', die zingevende ervaringen ook aan leerlingen gunnen, tot de vervolgvraag hoe leerlingen via het natuur- of scheikunde onderwijs met deze zingevende ervaringen kunnen kennismaken.

Het gebruik van fysische kennis kan uitmonden in verschillende vormen van destructie (ook van de oorspronkelijke inspiratie). Deze categorie van negatieve ervaringen vraagt om nadere reflectie op de vraag, of geïnspireerd vormgeverschap van fysici kan bijdragen aan 'goed gebruik'. Aan de filosofie van Levinas zullen eerste aanknopingspunten ontleend worden voor een antwoord op deze vraag. Dit antwoord zal vervolgens leiden tot het onderscheiden van drie dimensies van vorming. Deze concept-ontwikkeling vormt de tweede rode draad van het huidige hoofdstuk.

De derde rode draad is de vraag hoe een 'pedagogische leraar' het volgen van de eerste twee rode draden kan gebruiken voor zijn eigen vorming, om zodoende (beter) in staat te zijn om leerlingen in hun vorming te ondersteunen, met gesprekken over de positief en negatief inspirerende ervaringen die de fysieke disciplines met zich mee kunnen brengen.

Om nu een begin te maken met het volgen van de eerste rode draad moeten de positief en negatief inspirerende ervaringen, die in deel II (hoofdstuk 10) onder 'familiekwesties' behandeld werden, hier al aan de orde komen.

1 POSITIEF INSPIRERENDE ERVARINGEN

In de nu volgende paragraaf zal een begin gemaakt worden met de beschrijving van positief inspirerende ervaringen die de fysieke disciplines kunnen opleveren. Deze beschrijving zal uitkomen bij een vraagstuk dat met de toepassing van fysieke kennis verbonden is. Dit vraagstuk zal aanleiding geven om de beschrijving van positieve en negatieve inspiraties te onderbreken en plaats te maken voor een nadere reflectie op vorming.

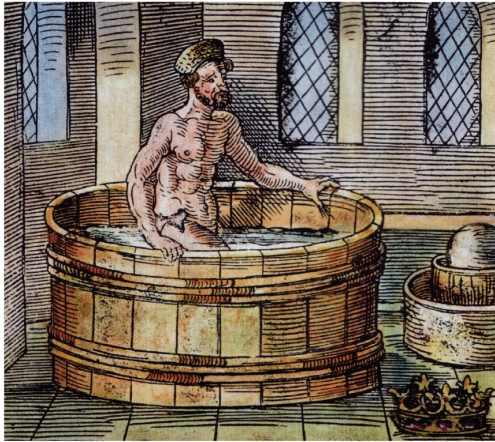
1.a Fysisch inzicht en toetsingsethiek

De inspirerende ervaringen die fysisch inzicht kan opleveren zijn deels verwant aan de ervaringen die wiskunde kan opleveren (hoofdstuk 10, § 1.a / *Wiskundig inzicht*). Ook voor fysici is het inspirerend om een logisch-formele structuur en zijn consequenties te doorzien. Maar, voor hen komt daar het fascinerende aspect bij, dat de structuren die zij doorzien wel degelijk verbonden zijn met concrete eigenschappen van natuurlijke systemen. En, na de revoluties die een einde maakten aan de klassieke fysica, komt daar ook nog bij: de inspirerende uitdaging om bij te dragen aan beeldvorming van een 'vreemde wereld' achter de gewone zicht- en tastbare wereld (pagina's 435 en 454).

Aan de geschiedenis van de fysica zijn vele voorbeelden te ontleen van de diepe voldoening, of zelfs vervoering, die ontdekkingen bij fysici kunnen oproepen.

Een overbekend voorbeeld is de door Vitruvius opgetekende anekdote over Archimedes, die luid 'eureka' roepend uit zijn bad sprong en in zijn blootje de straat op rende. Volgens de anekdote was de aanleiding tot deze uitbundige vreugde de simpele ontdekking dat men het volume van een onregelmatig gevormd voorwerp, zoals een kroon, eenvoudig kan bepalen door het voorwerp in water te dompelen en dan de volume-toename te meten (Biello, 2006).

Figuur 33



Een ander voorbeeld is de extase die Kepler onder woorden bracht in de inleiding van het boek dat zijn 'derde wet van Kepler' bevat. Zijn verwoording is te begrijpen omdat bij zijn ontdekking heel veel 'puzzelstukjes' als het ware ineens op elkaar aansloten en het verband tussen al die stukjes, in de vorm van een wiskundige formule, wonderlijk mooi en eenvoudig was. Voor een vrome fysicus, zoals Kepler, gaf dit de ultieme bevestiging van zijn geloof dat God bij zijn schepping van wiskundige regels was uitgegaan (E. J. Dijksterhuis, 1975, p. 336). Kepler geloofde dat hij in het 'boek van de natuur' enkele 'wiskundige gedachten van God' gelezen had, en voelde zich dus buitengewoon bevoorrecht dat hij de eerste lezer mocht zijn die dit stukje uit het 'boek van God' kon lezen. Daarom schreef hij aan het einde van een lange uitbarsting van vreugde en verwoording: *"dat hij het niet erg zou vinden wanneer zijn boek een jaar of honderd zou moeten wachten op een lezer, omdat God immers zesduizend jaar had moeten wachten totdat een mens zijn werk op dit punt zou beschouwen"*¹⁹⁶.

Deze voorbeelden zijn uit te breiden tot een lange rij die voortgaat tot in onze tijd. De Nederlandse Nobelprijswinnaar Gerard 't Hooft schrijft bijvoorbeeld *"wat mij betreft vielen de 'glorieuze dagen' tussen 1970 en 1976, toen ineens zo veel stukjes van de legpuzzel voor de zwakke, de elektromagnetische, en de sterke kracht op hun plaats vielen. De ontdekking van J/ Ψ , ofwel Gypsy, was het absolute hoogtepunt. (...) Nu wisten we dat zowel van de theorie van de zwakke als van de sterke kracht ook de details klopten. Naar mate men verder ging met experimenteren groeide onze verbazing hierover. Die details klopten namelijk veel beter dan velen van ons ooit gehoopt hadden. Eén ding werd heel duidelijk: we wonen in een wereld die heel nauw luistert naar de wetten van de wiskunde. Die wiskunde is moeilijk, maar kan helemaal begrepen worden"* (2014, p. 149).

¹⁹⁶ Geciteerd door Polanyi (1973, p. 7) uit *Harmonices Mundi, Prooemium bij boek V*.

Een ander indrukwekkend recent voorbeeld biedt Stephen Hawking. In de film die aan zijn leven is gewijd, *The theory of everything*, komt een scène voor waarin hem naar zijn levensfilosofie gevraagd wordt. In reactie daarop legt hij uit hoeveel zingevende voldoening hij ontleent aan het ontdekken van mooie mathematische samenhangen in de natuur. Een zingeving die, naast andere zingevingen, hem zelfs in staat stelt om met de ziekte ALS om te gaan.

In de bovengenoemde voorbeelden getuigen de betrokken onderzoekers niet alleen van het emotionele aspect van hun inspiratie, maar ook van een interpretatie die uitgesproken essentialistisch is (zoals bij Kepler), of op zijn minst daar dicht bij in de buurt komt. Dit roept de vraag op hoe een onderzoeker deze zelfde zingevende voldoening beschrijft wanneer hij het hoogmoedige essentialisme afwijst, en zichzelf beschouwt als deel van diezelfde natuur waaraan hij zijn ontdekkingen doet. Van die andere interpretatie getuigen uitspraken van andere onderzoekers, die in verschillende varianten de ronde doen, en die erop neerkomen: *dat het wonderlijk en inspirerend is om te ervaren dat je als mens enerzijds een onnoemelijk klein en vergankelijk deeltje uitmaakt van de kosmos, maar dat je anderzijds wel een deeltje bent waarin de natuur haar ogen open doet en ziet dat zij bestaat*¹⁹⁷.

Leraren die zich realiseren dat de hier genoemde ervaringen tot de inspiratiebronnen voor fysica behoren, zullen deze ervaringen ook graag aan hun leerlingen gunnen, en zich ervoor inzetten dat leerlingen op hun niveau met dergelijke ervaringen kennis kunnen maken. Daarbij kan gebruik gemaakt worden van voortdurend opkomende ideeën en initiatieven die erop gericht zijn om fysica-onderwijs voor leerlingen inspirerend te maken. Een voorbeeld daarvan biedt het werk van Wouter van Joolingen (2016). Van Joolingen gaat, evenals deze studie, uit van de opvatting dat het ontwikkelen van mathematische modellen de clou is van fysische wetenschap. Vervolgens gaat hij er ook van uit dat het inspirerende van 'modellenwerk' vooral te vinden is bij het zelf construeren van, spelen met, en toetsen van modellen. Om leerlingen met deze inspirerende aspecten kennis te laten maken heeft hij speciale computerprogramma's ontwikkeld (en laten ontwikkelen), met behulp waarvan leerlingen al vroeg kennis kunnen maken met dit creatieve aspect van exacte natuurwetenschap. Zijn onderzoek betreft, naast het ontwerp van deze computerprogramma's, ook de effecten daarvan en de gebruiksmogelijkheden in de les.

Omdat fysica betrekking heeft op observaties van concrete natuurlijke systemen komt bij dergelijke inspirerende ervaringen het aspect, dat ik voor wiskunde in hoofdstuk 10 (§ 1.a) beschreef onder *samenhangen ontdekken; vooroordelen ontmaskeren*, er vaak

¹⁹⁷ De hier door mij geformuleerde versie is een parafrase van de formulering die ik in een column van Bert Keizer (2015) tegenkwam, onder verwijzing naar Raymond Tallis.

direct bij. Het inspirerende van een fysisch inzicht, zoals het inzicht in de valwetten, hangt vaak direct samen met de connotatie van het ontmaskeren van vooroordelen, vergissingen of bedrog. In het geval van het inzicht in de valwetten levert dit inzicht nog steeds de voldoening op dat je nu beter begrijpt 'hoe het echt zit', dan je zelf eerder deed. En ook, dat je het nu beter begrijpt dan al die kinderen en volwassenen die nog steeds denken dat voorwerpen die zwaarder zijn daardoor sneller vallen.

De passie van fysici om vooroordelen, vergissingen of bedrog te ontmaskeren, en naar ware kennis te streven, heeft zich vertaald in een opvatting over 'goed handelen' die getypeerd kan worden als 'toetsingsethiek'. Deze ethiek houdt in dat bij strijdigheid tussen (experimenteel verkregen) observaties en theorie, uiteindelijk observaties de doorslag behoren te geven, hoe mooi of dierbaar de theorie ook is. De onderzoekshouding die op deze ethiek berust heeft ook buiten de fysica grote invloed uitgeoefend, zowel op wetenschappen als op de ruimere cultuur. Het is de houding van waaruit kritische onderzoekers bij iedere stellige bewering de vraag stellen "weten we dat wel zeker, is dit ooit getoetst, en zo nee, kunnen we een toetsing verzinnen om na te gaan of 'objectieve' observaties deze bewering bevestigen?". Deze houding, en deze ethiek hebben bewerkstelligd dat in de loop van onze cultuurgeschiedenis veel vooroordelen, goedgegelovigheid, en vormen van animisme weerlegd werden, en dat, hoe taai deze voorstellingen ook waren, een aantal van hen gesneuveld zijn. De onjuistheid van het oude idee dat de aarde plat was, werd bijvoorbeeld al door oude Grieken, zoals Aristoteles en Eratosthenes, bewezen (Starckx, 2016). Desondanks bleef deze voorstelling nog heel lang bestaan, tot zij uiteindelijk definitief sneuvelde door de ervaringen van zeevaarders. De aristotelische aanname dat de bolvormige aarde het centrum van de kosmos moest zijn, werd door Copernicus betwijfeld¹⁹⁸, en later door Galileï gefalsificeerd, op grond van waarnemingen van de schijngestalten van Venus en van de manen van Jupiter (Russell, 2000, pp. 564-565). En zo zijn er in onze cultuurgeschiedenis veel meer gangbare voorstellingen door waarnemingen en experimenten ontkracht. Op grond van kritische toetsingen hoeven we niet meer te geloven dat in het onweer een godheid aan het woord is, of dat een zonsverduistering het werk is van een boosaardige draak.

Ook op het gebied van dit ontmaskeren worden regelmatig creatieve toepassingen voor het onderwijs bedacht. Denk bijvoorbeeld aan de suggesties om het nep-karakter van het occulte spelletje 'Charlie Charlie Challenge' experimenteel te ontmaskeren¹⁹⁹.

Leraren die uit zijn op filosoferen met leerlingen, over de ervaringen die aan mensen een passie voor fysica kunnen bezorgen, zullen er eveneens belang aan hechten dat deze gesprekken kunnen aanknopen bij ervaringen die leerlingen zelf hebben opgedaan. Aan al deze leraren kan ik het zoeken naar, en ontwikkelen van mogelijkheden om leerlingen

¹⁹⁸ Zie hoofdstuk 5 (§ 1, voetnoot 19) en hoofdstuk 13 (§ 1.e / *Is alles relatief?*, pagina 397).

¹⁹⁹ Zie bijvoorbeeld <http://www.independent.co.uk/news/weird-news/charlie-charlie-challenge-explained-its-not-a-mexican-demon-being-summoned--its-gravity-10276557.html>

in het onderwijs inspirerende ervaringen te laten opdoen met een gerust hart overlatten²⁰⁰.

1.b Competentie en macht, bereik en beperking

Bij disciplines die hun inzichten wiskundig formuleren ligt de ervaring van inzicht dicht bij de ervaring van beheersing, competentie of macht. Zoals ik in verband met wiskunde al beschreef (hoofdstuk 9, § 1.a, 4^e sterke kant) komt dit voort uit het eigen karakter van wiskundig beschreven formele samenhangen. Wanneer de waarheid van zo'n generieke samenhang eenmaal duidelijk is, dan gaat deze op voor alle bijzondere gevallen die daaronder vallen, en dan is een mens die logisch kan denken en rekenen in staat om precies te voorspellen wat veranderingen in een 'onafhankelijke variabele' voor gevolgen zullen hebben voor 'afhankelijke variabelen'. Zoals ik al schreef gaf alleen die mogelijkheid om te voorspellen van oudsher al een inspirerende ervaring van competentie. Maar zodra de mensheid de mogelijkheden ging uitbuiten om deze kennis ook technisch te benutten kreeg die ervaring er een nieuwe dimensie bij. 'Kennis is macht' werd een adagium vanaf de tijd dat men inzag dat deze soort van kennis ook gebruikt kon worden om, door het slim manipuleren van oorzaken, gewenste gevolgen als het ware van de natuur 'af te dwingen'.

Naast de hierboven beschreven bijzondere ervaring dat in ons de natuur 'haar ogen open' komt daar nog de bijzondere ervaring bij dat wij met gebruikmaking van deze inzichten aspecten van die natuur naar onze hand kunnen zetten. Voor vormgevers, die al geïnspireerd zijn om iets te maken, kan deze macht hun bestaande inspiratie versterken, wanneer zij technische mogelijkheden zien om hun doel te bereiken. Daarnaast kan het gegeven dat nieuwe technische mogelijkheden ontwikkeld worden andere vormgevers inspireren om die nieuwe mogelijkheden speels te exploreren, of zich doelen te stellen die voorheen onhaalbaar waren.

Dit alles geldt zeker ook voor jonge mensen en leerlingen. Er is onderzoek dat uitwijst dat de ervaring van competentie, 'een vaardigheid beheersen', 'een situatie aankunnen', onmisbaar is voor de opbouw van zelfvertrouwen en de motivatie om te leren en zich actief te ontwikkelen²⁰¹. Maar, wanneer een docent fysica leerlingen laat kennismaken met de ervaringen van competentie en macht die dit vak kan bieden, dan lijkt het mij van belang dat deze leraar hen ook toerust om de reikwijdte en grenzen van die macht te leren kennen, evenals de wijzen waarop het gebruik van die macht zingeving kan versterken of kan vernietigen.

²⁰⁰ In hoofdstuk 17, § 2 zal verder ingegaan worden op het ondersteunen van vorming in het natuur- en scheikunde onderwijs.

²⁰¹ Zie bijvoorbeeld *De gemotiveerde leerling* (Bors, Stevens, van Grunsven, & van der Weegh, 2010, pp. 98-100).

Laat ik daarom nog eens beknopt samenvatten²⁰² welke beperkingen gelden voor de waarheid en voor de macht van fysieke kennis, om daarmee ook de beperkingen op het spoor te komen van de zingeving, die de ervaring van deze macht te bieden heeft.

Fysieke kennis heeft betrekking op *invarianties*, dat wil zeggen op vaste samenhangen die wij uitputtend kunnen kennen omdat slechts een eindig aantal kenmerken relevant zijn voor deze samenhangen. Omdat we ons verder beperken tot primaire kenmerken die via observatie herhaalbaar en objectief meetbaar zijn kunnen deze kenmerken adequaat gerepresenteerd worden door variabelen, en kunnen de invarianties adequaat gerepresenteerd worden door formules. De waarheid van deze formules is tenslotte ondubbelzinnig gemaakt door de beperking tot gevolgijkheden waarbij alleen het verleden een toestand bepaalt (en niet ook nog eens de toekomst), en waarbij alleen de delen het geheel bepalen (en niet ook nog eens het geheel de delen bepaalt).

Als resultaat van al deze beperkingen biedt de fysica een categorie van kennis die afgerond, ondubbelzinnig, en betrekkelijk zeker²⁰³ is, en waarvan we ons 'meester kunnen maken'. 'Kennis' is begrijpen en beheersen; 'waarheid' is een kenmerk van kennis die wij bezitten. Wanneer wij letten op de taal die in de fysica als interface gebruikt wordt om haar kennis te formuleren en te beheren, dan zien wij dat haar begrippen sluitend gedefinieerd zijn, dat wil zeggen: het is sluitend afgebakend op welke zaken een begrip wel en niet van toepassing is. Het concept omsluit het geconceptualiseerde. In traditioneel-filosofische termen: het idee omvat het ideatum.

De beperking tot de hier geschetste categorie van kennis levert dus een macht op die vormgevers kan inspireren. Maar, met die macht is ook een vraagstuk verbonden dat niet met behulp van de kennisbenadering van de fysica opgelost kan worden. Het vraagstuk waar ik nu op doel is het vraagstuk van het *gebruik* van de macht die met fysieke kennis verbonden is.

Omdat fysieke kennis berust op het afzien van alle functionaliteit, finaliteit en betekenis is het logisch dat deze kennis geen enkele indicatie oplevert met betrekking tot nuttigheid, zinvolheid, of goedheid van het gebruik van deze kennis. Deze kennis is niet toepassingsneutraal op grond van een keuze, maar omdat zij niet anders dan toepassingsneutraal *kan* zijn. Deze kennis impliceert daarom ook geen enkele macht over of invloed op het gebruik. Atoomfysica bleek bijvoorbeeld gebruikt te kunnen worden voor een wapenwedloop die steeds meer en steeds sterkere wapens opleverde, tot aan het niveau waarop de totale vernietiging van al het leven op aarde een reële mogelijkheid werd. Fysieke kennis is echter zelf niet geschikt om uit te vinden hoe deze totale vernietiging,

²⁰² Zie eerdere samenvatting op pagina 504-506, en uitvoeriger samenvatting in hoofdstuk 16, § 1 / *Beperkingen*.

²⁰³ Deze kennis is slechts 'betrekkelijk zeker' met name vanwege haar onuitroeibare voorlopigheid (hoofdstuk 14, § 6.c, *Fysieke modellen als interfaces*, het 7^e punt).

als een volkomen uit de hand lopen van het gebruik van haar kennis, voorkomen kan worden. Een ander voor de hand liggend voorbeeld bieden de industriële toepassingen van fysische kennis, die in hun geheel de mogelijkheid van ecologische rampen reëel maken. Ook in relatie tot deze mogelijkheid van het uit de hand lopen van het gebruik van haar kennis, is fysische kennis niet geschikt als hulpmiddel.

Het fundamentele vraagstuk dat met deze categorie van kennis en macht samenhangt is daarom, dat het gebruik van deze kennis een destructieve terugslag kan hebben op de inspiratie en zingeving, die oorspronkelijk met haar ontwikkeling verbonden waren. Immers, van de zingevende '*Entdeckerfreude*', als inspirerend geschenk van een natuur die in ons haar ogen opent, blijft weinig zingevends over wanneer wij door het gebruik van die kennis subjecten van zingevend ontdekken (op fysisch gebied en op vele andere gebieden) verbranden of vergiftigen.

Tegen de achtergrond van dit vraagstuk lijkt het mij van cruciaal belang dat fysici leren om zodanig vorm te geven aan hun discipline, dat de zingeving die fysische kennisontwikkeling te bieden heeft duurzaam kan zijn, in plaats van door het gebruik ongedaan gemaakt te worden. Maar, dan betekent dit voor de vorming van fysici, dat deze niet beperkt kan blijven tot vormgeverschap op het gebied van *ontwikkeling* van fysische kennis, maar dat het leren vormgeven aan het *gebruik* van die kennis daar ook toe behoort. Wanneer ik dit goed zie, *dan zijn er bij de vorming van fysici op zijn minst twee verschillende 'gebieden' of 'dimensies' van vorming aan de orde*. En, dan is het besef van die verschillende 'dimensies' ook voor pedagogische leiders van belang, omdat die vorming op school begint.

Daarom lijkt het mij goed om nu niet direct door te gaan met het inventariseren van inspirerende ervaringen, maar om eerst nader in te gaan op de vraag, of er een mogelijkheid is om bij 'vorming' tussen verschillende 'dimensies' te onderscheiden. Daarom volgt nu eerst een nadere reflectie op 'vorming', voordat ik verder ga met de inventarisatie van inspirerende ervaringen, c.q. kansen op vorming, die de beoefening van fysica te bieden heeft.

2 DRIE DIMENSIES VAN VORMING

Om de vraag, naar de onderscheiding van verschillende 'dimensies' in vorming, te kunnen beantwoorden, zal ik gebruik maken van gedachtegangen van verschillende auteurs, onder wie Levinas een prominente plaats inneemt. De keuze voor, en beperking tot, deze auteurs is -uiteraard- mede bepaald door de inspirerende rol die zij voor mijn eigen vorming vervuld hebben. Aanvulling, verdieping, of correctie van deze verkenning is altijd mogelijk.

De nu volgende verkenning zal uitmonden in het voorstel om bij 'vorming' te onderscheiden tussen drie 'dimensies':

1. Vorming door zingevend genieten en spelen.
2. Vorming door zingevende ethische onderbreking.

3. Vorming door zingevende dankbaarheid.

2.a Zingend genieten en spelen

Zoals ik eerder beschreef speelt het ontdekken van mechanismen of invarianties al een rol bij sommige 'hogere' diersoorten (pagina 489). Oorspronkelijk concentreerden biologen zich vooral op de evolutionaire nuttigheid van dergelijk gedrag, en die speelt ook duidelijk een rol. Maar, in de laatste decennia ontdekken biologen ook, dat allerlei soorten van gedrag die nuttig zijn om te overleven, in het leven van dieren ook allerlei andere functies krijgen die niet vanuit deze nuttigheid verklaard kunnen worden²⁰⁴. Kennelijk kunnen dieren gaan 'spelen' met sommige vermogens en gedragsvormen, die door de 'zeef' van overlevingswaarde heen gekomen zijn, en ontdekken zij spelenderwijs nieuwe mogelijkheden. Aan dit 'nutteloze' spelen ontlene zij een voldoening die in wezen niet anders is dan de voldoening van een kind dat huppelend en zingend op het schoolplein speelt. Met andere woorden, zowel kinderen als dieren spelen niet om het nut maar omdat zij daarvan 'genieten'²⁰⁵.

In het vorige hoofdstuk ontwikkelde ik de gedachtegang, dat de winstpunten die het gebruik van symbolische taal oplevert voor een belangrijk deel begrijpelijk maken hoe verschillende kenmerken en vermogens, die mensen met andere primaten delen, zich bij mensen hebben doorontwikkeld. Eén van die vermogens, die op een elementair niveau al bij primaten aanwezig is, is het ontdekken van invarianties, en het gebruik maken van de opgedane kennis daarvan. Vervolgens heb ik in dat hoofdstuk betoogd dat de ontwikkeling van fysische wetenschap gezien kan worden als een doorontwikkeling van dit elementaire vermogen dankzij taal. Wanneer ik deze gedachtegang nu combineer met de ervaring dat fysici hun wetenschap niet alleen om haar nuttigheid beoefenen, maar aan die beoefening ook zingevende voldoening beleven, dan kan die voldoening als doorontwikkeling gezien worden van het creatieve 'genieten' en 'spelen' dat ethologen zowel bij verschillende diersoorten als bij mensen herkennen.

²⁰⁴ Biologen onderscheiden in dit verband twee soorten van redenen die (gedrags)kenmerken kunnen verklaren, namelijk: 'ultimate reasons' (evolutionaire nuttigheid) en 'proximate reasons' (direct en contextueel werkzame motieven). Zie bijvoorbeeld (de Waal, 2009, p. 53, noot 39) en (Goldschmidt, 2008, p. 16).

²⁰⁵ Zoals Huizinga (1952) en Goldschmidt (2008) met voorbeelden illustreren. Een sterk voorbeeld dat Goldschmidt vermeldt (2008, p. 22) biedt het onderzoek naar het spelen van jonge katten met balletjes of speelgoedmuizen, waarvan altijd aangenomen werd dat dit evolutionair begrepen moest worden 'als nuttige oefening om later beter op muizen te kunnen jagen'. Uit onderzoek blijkt echter dat jonge katten die verhinderd worden om dergelijke spelletjes te spelen later even goede jagers zijn als de katten die wel konden spelen. De enige reden die overblijft is daarom de 'proximate reason' dat de jonge katten van dit soort spelletjes genieten.

Dit 'genieten' en spelen' is bij de fysica vooral te herkennen in haar creatieve dimensie, het intuïtieve spelen met interessante concepten en experimenten, niet alleen binnen gevestigde kaders maar ook daarbuiten. Het is vooral dit creatieve proces dat de voldoening gevende ervaringen oplevert, die sommigen verwoorden als 'dat in ons de natuur haar ogen opent'. Zoals ik in deel II al over wiskundigen schreef²⁰⁶ zou het ook voor fysici een diepe teleurstelling zijn wanneer zou blijken dat dit proces ook als een mechanisme geanalyseerd zou kunnen worden en in principe ook aan machines toevertrouwd zou kunnen worden. Ook voor hen zou gelden dat hun discipline dan gedegradeerd zou worden tot een techniek waar letterlijk 'geen kunst meer aan is'. Wanneer deze fysici en mathematici gelijk hebben, dan verschilt het intuïtief-creatieve 'spelen' fundamenteel van de mechanismen die in de fysica voorwerp van onderzoek zijn.

Gabriel Marcel heeft dit verschil tussen de processen die in de fysica (en andere wetenschappen) voorwerp van onderzoek zijn en de creatieve processen die wetenschap (en kunst) in ontwikkeling houden, met een heldere onderscheiding verduidelijkt. Marcel stelt voor dat wij 'probleem' en 'mysterie' op specifieke wijze van elkaar onderscheiden (1960, pp. 110-113, 160-162). Een 'probleem' is dan een vraagstuk dat wij buiten onszelf kunnen plaatsen, tussen onszelf en anderen in, en dat wij zodoende met anderen kunnen bekijken en bespreken. Wij kunnen een probleem met anderen bespreken zonder zelf 'in het geding' te komen. Een probleem is dan een kwestie waar ik samen met anderen als het ware 'omheen kan lopen' om de kwestie van verschillende kanten te bezien²⁰⁷.

Wanneer men Marcells onderscheiding volgt, dan is het duidelijk dat de fysica een discipline is die zich op 'problemen' concentreert. En dan specifiek op problemen die niet een onafzienbaar aantal aspecten hebben, maar waarvan we alles kunnen weten wat we moeten weten, wanneer we een eindig aantal aspecten kennen. Daarom zijn fysieke problemen bespreekbaar in concepten die het geconceptualiseerde omvatten (het idee omvat het ideatum).

Het concept 'mysterie' reserveert Marcel voor al die werkelijkheden die we soms wel bespreken, maar die niet echt buiten onszelf geplaatst kunnen worden, omdat zij óns bevatten (1960, p. 133). Die werkelijkheden zijn daarom té groot om in ons denken of onze taal omvat te kunnen worden. Een interessante consequentie van Marcells denken is, dat dit onderscheid hem een kritische kijk bezorgt op veel filosofisch gepraat en geschrijf. Er wordt immers vaak geschreven over 'het kwaad', 'het goede', 'de natuur', 'de

²⁰⁶ Zie hoofdstuk 6, § 1.d; hoofdstuk 10, § 1.a / *Creatieve geschoolde intuïtie*.

²⁰⁷ We moeten hierbij niet zozeer denken aan het Nederlandse 'probleem' (met zijn negatieve associaties van moeite of ongemak) maar eerder aan de betekenis van het Engelse 'problem', als een 'voorgesteld vraagstuk' dat spannend, uitdagend en interessant kan zijn. Deze laatste betekenis sluit ook beter aan bij de etymologische herkomst van het begrip, dat afkomstig is van het Griekse werkwoord 'proballein' (naar voren brengen, voorstellen, opwerpen) (Philippa et al., 2014).

cultuur', 'het leven', 'de evolutie', of 'de taal'²⁰⁸, alsof dat zaken zijn die zich als problemen laten behandelen. In wezen zijn dit echter allemaal werkelijkheden waar wij, ook denkend, pratend of schrijvend, deel van blijven uitmaken. We moeten niet denken dat wij, door een naam aan dergelijke werkelijkheden te geven, ons daarvan begripsmatig meester kunnen maken. In al die gevallen overschrijdt het 'ideatum' verre de dimensies van hetgeen in een 'idee' gevat kan worden. Natuurlijk propageert Marcel niet dat wij over al deze thema's niet meer zouden mogen spreken of schrijven, maar hij bepleit wel dat wij ons daarbij bescheiden opstellen, vanuit het besef dat deze werkelijkheden groter zijn dan hetgeen de termen van ons begrijpen en bespreken kunnen bevatten²⁰⁹.

Het creatieve proces van vormgevers, of het nu gaat om kunstenaars of wetenschappers, is een voorbeeld van een 'mysterie' zoals Marcel dit bedoelt. Wanneer er immers een probleem is met onze creatieve intuïtie omdat deze niet werkt zoals we graag zouden willen, dan kunnen wij dit probleem niet van onszelf losmaken, maar zijn wijzelf in het geding. Hoe onze intuïtie werkt hangt onverbrekkelijk samen met de lange geschiedenissen van evolutie en culturen die ons gemaakt hebben tot de mensen die wij zijn. En boven op het collectieve komt de individuele variatie van mens-zijn die ieder persoon belichaamt, en ook nog de persoonlijke geschiedenis van ervaringen en leerprocessen die bepalen hoe wij welke ervaringen en fantasieën met elkaar kunnen associëren. Kortom onze intuïtie is niet een artefact dat wij (of anderen) ontworpen en gemaakt hebben, maar het is een deelresultaat van complexe groeiprocessen waar ons 'zijn' deel en resultaat van is. In en met onze creatieve processen maken wij deel uit van de levende natuur en haar evolutie, van culturen en van hun geschiedenis, en van de vele gebeurtenissen die ons gebracht hebben naar het punt waar wij nu zijn. Daarom ervaren veel creatieve vormgevers (kunstenaars, wetenschappers en anderen) zich in hun creatieve proces als voertuigen van een mysterie dat groter is dan zichzelf.

Een fysicus die deze ervaring welsprekend geformuleerd heeft is Albert Einstein. In 1931 schrijft hij: *"The most beautiful experience we can have is the mysterious. It is the fundamental emotion which stands at the cradle of true art and true science. Whoever does not know it and can no longer wonder, no longer marvel, is as good as dead, and his eyes are dimmed. It was the experience of mystery -even if mixed with fear- that engendered*

²⁰⁸ In verband met de hiervoor gegeven beschouwingen van 'taal als interface' lijkt het mij goed om nu op te merken dat wij met 'taal' niet alleen de stukjes taal kunnen bedoelen die wij als interface kunnen inzetten, maar dat 'taal', anders beschouwd, ook een omvattende werkelijkheid is die mensen tot mensen maakt. De titel van een overzicht van onderzoek naar het ontstaan van taal in de evolutie van de mens formuleert daarom niet voor niets *Hoe taal de mens maakte* (Smits, 2009). Buber formuleerde al in 1923: *"In Wahrheit nämlich steckt die Sprache nicht im Menschen, sondern der Mensch steht in der Sprache und redet aus ihr"* (1966, p. 49).

²⁰⁹ De termen 'mythe' en 'mythisch besef' kunnen ook uitdrukking geven aan dit opgenomen zijn in omvattende verbanden, en moeten daarom niet altijd in afkeurende zin opgevat worden.

religion. A knowledge of the existence of something we cannot penetrate, our perceptions of the profoundest reason and the most radiant beauty, which only in their most primitive forms are accessible to our minds - it is this knowledge and this emotion that constitute true religiosity; in this sense, and in this alone, I am a deeply religious man" (1982b, p. 11).

Einstein geeft in dit citaat een voorbeeld van een respectvolle wijze waarop toch ook over een mysterie gesproken of geschreven kan worden. Uit zijn manier van beschrijven spreekt de erkenning dat het besprokene (het ideatum) het bevattingsvermogen van ons denken en onze concepten (het idee) verre te buiten gaat. Uit het citaat blijkt ook dat er goede redenen zijn waarom het belangrijk is om toch iets te bespreken dat wij niet kunnen bevatten. Die redenen komen voort uit Einsteins niet-onverschillige²¹⁰ relatie met, of houding tegenover, het mysterie dat hij beschrijft. Einstein vindt het van groot belang om de inspirerende ervaringen die aan de wieg staan van 'ware kunst' en 'ware wetenschap' te benoemen en daarmee onder de aandacht te brengen. Hij schrijft dat mensen die dergelijke ervaringen niet kennen 'zo goed als dood zijn'. Met andere woorden: dergelijke ervaringen bezorgen hem het gevoel dat hij waarlijk leeft, en daarom gunt hij die ervaringen ook aan anderen. Wat betreft de fysica beschrijft hij zijn inspiratie als het ervaren van een wonderlijke Logos en een stralende Schoonheid waar wij met ons verstand slechts een fractie van kunnen begrijpen.

De term 'religie' is in dit verband gerechtvaardigd, wanneer we religie opvatten als 'verbintenis'²¹¹. Als een mens die zoveel aan deze ervaringen te danken heeft voelde Einstein zich aan dit mysterie verplicht om op te komen voor een mensbeeld waarin deze ervaringen een belangrijke plaats innemen, en om op te komen voor een maatschappij die ruimte geeft aan 'ware kunst' en aan 'ware wetenschap'.

Levinas geeft aan het denken over inspirerende ervaringen van werkelijkheden die ons omvatten een belangrijke bijdrage. Levinas betoogt dat de mens die dergelijke ervaringen meemaakt, niet in het grotere geheel van omvattende werkelijkheden oplost, maar door zijn verschillende relatie daarmee een origineel-unieke 'ikheid' of 'zelfheid' verkrijgt. Beginnend bij het elementaire genieten van "denken, eten, slapen, lezen, werken, zich koesteren in de zon" betoogt hij dat 'leven' een betrekking inhoudt tot al die levensuitingen die neerkomt op "liefde voor het leven" (1987a, p. 126). Ook volgens Levinas verhoud ik mij in die liefde tot werkelijkheden die veel groter zijn dan mijn bestaan. Maar het bijzondere is, dat het behoren tot die omvattende werkelijkheden mij niet onverschillig laat. Met andere woorden: het genieten, de liefde (of het gemis daarvan), impliceren dat ik mij tot die werkelijkheden verhoud, dat ik in een verschillende relatie tot die werkelijkheden sta. En, staan in een relatie impliceert dat ik als subject van het genieten

²¹⁰ In navolging van vele anderen heb ik hiervoor, en zal ik in het vervolg, 'niet-onverschillig' regelmatig vervangen door het ondertussen vrij gangbaar geworden neologisme 'verschillig'.

²¹¹ Volgens het *Etymologisch woordenboek* (Philippa et al., 2014) was het Augustinus die deze opvatting van het concept 'religie' voorstelde.

niet samenvallend met de grotere werkelijkheid die het object van mijn genieten (mijn waardering, mijn liefde) is. Jan Keij formuleert het mysterie van die relatie als: de twee termen van die relatie gaan wel samen maar vallen niet samen (2006, p. 111). In die relatie is mijn genieten onherleidbaar *mijn* genieten. Die onherleidbaarheid impliceert dat ikzelf als subject van *mijn* genieten, niet als casus van een algemeen concept besta, en niet als exemplaar van een soort, maar als volstrekt unieke oorsprong van dit genieten (1987a, pp. 133-134)²¹².

Het genieten motiveert om van het vervullen van behoeften meer te maken dan alleen een noodzakelijk kwaad. Mensen kunnen bijvoorbeeld van eten een spel maken, dat meer is dan het bevredigen van honger, en waar zij onbekommerd van genieten. Leven is meer dan overleven, het is louter spel of genieten van het leven (1987a, p. 154).

Laat ik deze fenomenologische analyses van Levinas nu interpreteren in het licht van deze studie. Het lijkt mij dat Levinas hier 'van binnenuit' de ervaringen beschrijft van het mysterie dat wij als mensen tegelijk deel uitmaken van omvattende werkelijkheden én daar ook niet mee samenvallen. Dankzij die onbevattelijke tweeheid maken wij deel uit van de natuur én geven wij daar genietend en spelend ook eigen vormen aan, die wij 'cultuur' noemen. En, dankzij die onbevattelijke tweeheid maken wij deel uit van de cultuur waarin wij zijn opgevoed, én geven wij daar als unieke vormgevers genietend en spelend nieuwe vormen aan, waardoor een cultuur een levende cultuur blijft. Zo gaat het ook met taal. Levende mensen laten zich niet beperken tot de bestaande kaders van de taal die hen 'met de paplepel is ingegoten', maar spelen ook mét die kaders. Zodoende blijft ook een taal een levende taal. Een 'dode taal' en een 'dode cultuur' vormen een gesloten geheel, en in die zin een totaliteit. Zij vormen gehelen waarvan bepaald kan worden wat er wel en wat er niet toe behoort. Op ieder moment dat een uniek individu creatief speelt met zijn taal of cultuur wordt de totaliteit van het bestaande doorbroken

²¹² Hieraan kan toegevoegd worden dat deze 'dubbelheid' van 'wel samengaan en niet samenvallen' ook kan gelden voor negatieve ervaringen zoals diep verdriet, verlies, teleurstelling of wanhoop. Harry Kunneman maakte mij daarop opmerkzaam door over dergelijke ervaringen op te merken dat een mens die kan "ondergaan zonder er in *onder* te gaan" (2016). Ik ben ervan overtuigd dat deze dubbelheid dezelfde is als de dubbelheid die het verschil uitmaakt tussen een 'roes' waarin een mens kan *ondergaan*, en het hier bedoelde 'genieten'. De mogelijkheid van mensen om uit negatieve ervaringen toch inspiratie te putten moet samenhangen met het door Kunneman genoemde verschil tussen *ondergaan* en *ondergaan*.

en gelden de oude definities van deze taal of cultuur niet meer. Zolang een taal of een cultuur op deze wijze in ontwikkeling is, ofwel 'leeft', vormt zij geen afgesloten geheel²¹³.

De fenomenologische analyse van Levinas bevestigt de dubbelheid waarmee vele creatieve vernieuwers, zoals kunstenaars en wetenschappers, hun scheppingsproces beschrijven. Enerzijds ervaren zij zich als deel van een groter proces, een mysterie, zoals Einstein het beschrijft²¹⁴; anderzijds maakt hun deelname aan dit grotere proces hen tegelijk tot de unieke, letterlijk 'originele', scheppers van iets nieuws. Bovendien plaatst Levinas het scheppingsproces door zijn accentuering van het 'genieten' duidelijk in de levenssfeer die sinds Aristoteles wordt aangeduid als '*het goede leven*' (in contrast met overleven) (van Tongeren, 2013, pp. 33-36). En tenslotte kent Levinas de mysterieuze dubbelheid van het creatieve genieten en spelen niet exclusief toe aan 'grote geniale vernieuwers' maar aan ieder mens.

²¹³ Hierbij moet opgemerkt worden dat Levinas de 'oneindigheid' van een levende cultuur of -taal in *Totalité et Infini* ook als 'totaliteit' aanmerkt. Dit houdt verband met de geslotenheid voor barmhartigheid die dergelijke levende gehelen kunnen belichamen. De échte Oneindigheid is voor Levinas de doorbreking van dergelijke onbarmhartige 'totaliteiten' door de confrontatie met het onvergeeflijke onrecht dat kwetsbare enkelingen wordt aangedaan (de Boer, 1976a, p. 34).

Zoals ik in deel I al aankondigde (hoofdstuk 3, § 3.b) noodzaken recente ontwikkelingen in de biologie tot het opnieuw doordenken van de vraag, of dergelijke inzichten wel exclusief opgaan voor menselijk-culturele processen. Levinas ziet het 'genieten' en 'spelen' nog als exclusief menselijke vermogens (1987a, p. 154), maar sinds de tweede helft van de vorige eeuw ontdekken biologen steeds meer gedragingen bij dieren die de aanname van deze exclusiviteit onhoudbaar maken (de Waal, 2009; Goldschmidt, 2008; van Hooff, 2007). Als gevolg daarvan bezigen biologen sindsdien uitdrukkingen zoals 'animal culture' en 'animal tradition' (Fragaszy & Perry, 2003; Kawai, 1965; Kawamura, 1959; Nishida, 1987). Deze inzichten impliceren dat individuele dieren, net als mensen, op speelse wijze nieuwe gedragsvormen kunnen ontwikkelen die niet eerder tot het repertoire van hun soort behoorden. Deze gedragsvormen kunnen, net als bij mensen, via leerprocessen van de ene generatie naar de andere overgedragen worden.

Ook op het diepere evolutionaire niveau kan men 'leven' en 'innovatie' met elkaar associëren. Biologen zoals Rosen betogen dat er bij de ontwikkeling van nieuwe levensvormen meer aan de hand is dan alleen het toevallig-mechanische ontstaan van mutaties in genetische 'programma's'. Het is gebleken dat overgeërfde genetische informatie de ontwikkeling van een individu minder strikt bepaalt dan een computerprogramma. Het lijkt erop dat tijdens de ontwikkeling van een individu ook met de geërfde informatie 'gespeeld' wordt, en dat ieder nieuw individu zodoende een klein experiment met nieuwe variaties representeert. Rosen stelt daarom dat men evolutie beter kan zien als een gevolg van leven, als een levensuiting, dan andersom (a.w., p. 255). Dergelijke beschouwingen openen het interessante perspectief dat we ook de natuur kunnen zien zoals ik hierboven cultuur beschreef: zolang de levende natuur leeft is ook deze geen afgesloten totaliteit.

²¹⁴ Om die reden had Einstein een sterke afkeer van alle vormen van persoonsverheerlijking, en met name de vormen waar hij zelf het mikpunt van was (1982b, p. 9).

Zo ben ik weer terug bij het mensbeeld van de mens als schepper en schepsel van cultuur (Landmann, 1961)²¹⁵, waaraan ik in hoofdstuk 2 (§ 3.a) mijn omschrijving van vorming ontleende.

Huizinga is een andere auteur die aan genieten en spelen grote waarde toekent, en die de stelling verdedigt dat het spelen aan de oorsprong staat van alle vormen van cultuur. Huizinga verdedigde deze stelling over spel²¹⁶ als oorsprong van cultuur²¹⁷ al in 1938 in *Homo Ludens*, op grond van een indrukwekkende reeks argumenten. Het betoog van Huizinga in *Homo Ludens* komt in hoofdlijn erop neer dat samenlevingen en culturen de diverse vormen van vrije spelen nodig hebben om in leven en in ontwikkeling te blijven. In totalitaire samenlevingen en culturen, zoals de Romeinse rijkscultuur of een door en door rationalistische en commerciële moderne cultuur, waarin alles ondergeschikt is aan de handhaving van de bestaande economische orde, gaat de vitaliteit van cultuur en samenleving ten onder (1952, hoofdstuk XI en XII). Als meest extreme ontkenning van alles waar spel voor staat ziet Huizinga de interactie tussen volken en staten waarin de spelregel van het '*pacta sunt servanda*' niet meer geldt (1952, p. 216), en die kan uitlopen op de verschrikkingen van de moderne totale oorlog. Uit het einde van zijn boek spreekt zijn voorgevoel in 1938 van een herhaling van een dergelijke catastrofe.

Wanneer ik nu de grote lijn van Huizinga's betoog toepas op de ontwikkeling van de fysica, dan wordt de stelling verdedigbaar, dat zowel de fysica een open samenleving nodig heeft die de speelruimte biedt om fysica om zichzelf te beoefenen, als dat een open samenleving een speelse fysica nodig heeft die niet alleen om haar nuttigheid beoefend wordt. Het is daarom zowel voor samenleving als voor fysica dodelijk bedreigend wanneer een totalitair regime, dat op een totale oorlog aanstuurt, op fysische kennis gebaseerde wapens in handen krijgt die voor totale vernietiging gebruikt kunnen worden.

²¹⁵ De merkwaardige verhouding die spreekt uit de uitdrukking 'de mens als schepper en schepsel van cultuur' is niet alleen bij Landmann, maar ook bij andere antropologen en cultuurfilosofen een belangrijk thema. Dit thema staat ook wel bekend als 'de dialectiek van cultuur' (Lemaire, 1976, pp. 379-400).

²¹⁶ Bij Huizinga's spelconcept moet aangetekend worden dat hij, in het kader van zijn onderzoek, het begrip 'spel' inperkt tot de spelsituaties en spelvormen waarbij het spelen *niet* (alleen maar) in dienst staat van één of andere vorm van nuttigheid, maar gewaardeerd wordt om zichzelf (zoals Levinas later 'spel' ook opvat). Spel is pas het spel dat Huizinga bedoelt wanneer het niet om de knikkers gaat, maar om het spel (1952, p. 50). In de terminologie die ik in hoofdstuk 2 introduceerde kan gezegd worden dat Huizinga 'spel' inperkt tot inspirerend of *zingevend spel*.

²¹⁷ Zie (1952, pp. vii, 47). In dit verband is het opmerkelijk dat Huizinga's onbevangen observaties van het spel van dieren hem er in 1938 al toe bracht om, tegen de heersende opvattingen in van de biologie van zijn tijd, te stellen dat het spelen van dieren als doel in zichzelf niet wezenlijk verschilt van het spelen van mensen (1952, pp. 1-3). Latere ontwikkelingen in de biologie hebben Huizinga's interpretatie bevestigd (Goldschmidt, 2008).

Precies daarom was Einstein zeer bevreesd dat de kennis van atomaire kettingreacties, die ook in Duitse handen was, gebruikt zou worden door het totalitaire Hitler-regime. Het was deze vrees die hem ertoe bracht om president Roosevelt al in 1939 in een brief²¹⁸ op dit gevaar te wijzen, en hem te adviseren ervoor zorg te dragen dat de mogelijkheid om een nieuw wapen met buitengewone vernietigingskracht te produceren ook in handen zou zijn van de tegenstanders van dit totalitaire regime.

Wanneer ik vorming nu beschouw zoals Huizinga en Levinas dat doen, dan is 'leren genieten en spelen' een dimensie van vorming. Natuurlijk genieten en spelen kinderen 'van nature' al, maar op de duur komen er allerlei aspecten aan de orde die leerprocessen vereisen. Men kan denken aan het onderkennen van bedreigingen van spelkwaliteit, zoals 'spelbederf' en 'spelbreker-zijn', meer letten op de kwaliteit van het spel dan op de 'knikkers', tegen zijn verlies kunnen, sportiviteit, et cetera. En wat betreft het genieten, kan men denken aan het leren onderscheiden tussen écht genieten en verslavend genot, tussen een roes waarin je jezelf verliest en inspirerend genieten waarin je jezelf en je creativiteit ontdekt, tussen genieten dat samengaat met ontwikkeling en genieten waar je niets mee opschiet, tussen genieten van iets dat je waardeert om zichzelf en genieten van iets dat je waardeert omdat het nuttig is, tussen genieten dat je wordt aangepraat en genieten dat je werkelijk zelf ervaart, et cetera.

In dit leerproces vormt de ontwikkeling van het besef van de hiervoor beschreven mysterieuze tweehed een belangrijke rode draad. En daarbij met name het besef dat het creatieve genieten en spelen alleen vruchtbaar kan samengaan met omvattende gehelen die een niet-totalitair karakter hebben. Zodra individuen geacht worden of gedwongen worden om te functioneren volgens het motto "*Du bist Nichts T ist Alles*"²¹⁹ is er strijdigheid tussen een totalitaire orde *T* en individuele creativiteit. Vorming, niet alleen van leerlingen, maar ook van leraren, schoolleiders, en anderen, impliceert voor een belangrijk deel het leren om verschijningsvormen van totalitair denken en organiseren te onderkennen, en te leren hoe zich daarvan te bevrijden, zich daartegen te verzetten, of het te doorbreken. Ook voor fysici is dit aspect van vorming nog steeds actueel. Totalitaire systemen gebruiken immers graag ook de macht die met fysische kennis verbonden is voor de handhaving van hun totalitaire orde. En, daarbij hoeft men niet alleen te denken aan de macht van het 'militair industriële complex', maar ook aan de macht van het economische systeem dat totalitaire trekken vertoont wanneer het simplificerende motto '*Kennis is Kassa*' de toon aangeeft, en academische vrijheid daarvan het slachtoffer is.

Het onderkennen van, en het ontsnappen aan, het kwaad van verstikkende en vernietigende systemen is een moeilijke en soms onmogelijke opgave. Mensen kunnen ook

²¹⁸ Zie bijvoorbeeld (Lagendijk, 2013) <http://sggroningen.nl/sites/default/files/Einstein2.pdf>.

²¹⁹ Naar het motto van het Nazi-regime in de vorige eeuw "*Du bist Nichts, dein Volk ist Alles*".

onbedoeld en ongewild voertuigen zijn van dit kwaad. Een aantal fysici, die in de tweede wereldoorlog eraan meewerkten dat het atoomwapen in Amerikaanse handen kwam, zagen met spijt dat dit wapen vooral geschikt was om tegen burgers in te zetten, dat het geheel in lijn lag van de ontwikkeling naar totale oorlog, en dat het voedsel gaf aan een wapenwedloop die leidde tot een arsenaal dat in principe in staat is om alle leven op aarde te vernietigen²²⁰. Mensen, inclusief fysici, kunnen onbedoeld fungeren als radertjes in een kwaadaardige proces, dat bijvoorbeeld mensen eerst doet geloven dat conflicten alleen door middel van macht en geweld beslecht kunnen worden, dat vervolgens een spiraal van geweld onontkoombaar maakt, en dat tenslotte mensen ertoe aanzet om in het gebruik van geweldsmiddelen tot het uiterste te gaan. Dit kwaadaardige proces leidt er bovendien toe dat menselijke waarden onvermijdelijk ook ernstig schade lijden aan de kant van hen die deze waarden juist willen verdedigen.

Ook Gabriel Marcel had een helder inzicht in het bovenstaande. Hij rekende daarom ook het Kwaad tot de mysteries die we niet als probleem buiten onszelf kunnen plaatsen (1960, pp. 161-162). We kunnen onszelf bedotten en net doen alsof het Kwaad een probleem is, maar het Kwaad blijft onbevattelijk, omdat wij er zelf ook deel van zijn en blijven. Het gaat dus niet aan om het mysterie als zodanig te verheerlijken, want een myste-rie kan zowel het kwade als het goede belichamen.

Na de tweede wereldoorlog en haar verschrikkingen hebben een aantal denkers zich er zeer voor ingezet om te leren van die ervaringen, en om de onbevattelijke mysteries van het Kwade en het Goede beter te doorgronden. Anders gezegd: om onze onophefbare onwetendheid toch een stap te verbeteren. Levinas was één van hen, en de wijsheid van enkele inzichten die dit leerproces hem opleverde heeft op mij veel indruk gemaakt.

In de eerste plaats vind ik het wijs en herkenbaar, dat Levinas het onbekommerd genieten van het leven en van de vreugde van het spel voorstelt als een onmisbare dimensie van de vorming tot en als unieke persoon²²¹. Daarbij constateert hij in één adem dat dit genieten en spelen ook *moreel* onbekommerd is. "*In de genieting ben ik op absolute wijze voor mijzelf. Egoïst zonder verwijzing naar een ander (...) op onschuldige*

²²⁰ Zie bijvoorbeeld Lagendijk (2013) die onder andere de "*Szilard petitie aan H. Truman*" aanhaalt, waarin 69 ondertekenaars op het laatste moment Truman ervan proberen te weerhouden om de bom te gebruiken zonder Japan eerst de kans te geven om zich over te geven (ontleend aan <http://www.dannen.com/decision/index.html>, een documenten-verzameling met betrekking tot de beslissing om atoombommen op Hiroshima en Nagasaki af te werpen). Einstein behoorde niet tot de ondertekenaars van deze petitie, maar verklaarde in 1947: "*Als ik geweten had dat de Duitsers geen atoomwapen ontwikkelden, dan had ik geen vinger uitgestoken*" (Lagendijk, 2013).

²²¹ Korthedshalve ga ik voorbij aan de ervaringen van kwetsbaarheid en lijden die de tegenpolen vormen van ervaringen van genieten en geluk. Volgens Levinas is de enige zin van deze 'negatieve' ervaringen dat zij tot goedheid kunnen inspireren "the suffering which I undergo can make me sensitive to the fate of the other" (van Riessen, 2007, pp. 117-118).

wijze egoïstisch en alleen. Niet tegen de anderen, niet 'mijn deel' opeisend, maar totaal doof voor een ander" (1987a, p. 154). Zijn karakterisering van het genieten en spelen als 'egoïsme' is niet afkeurend bedoeld. Uit zijn betoog blijkt dat hij de ervaring van het moreel onbekommerde genieten als een onmisbare voorwaarde ziet voor de ervaring van morele verantwoordelijkheid, en het verlangen daarnaar. Levinas: "*Maar het Verlangen naar het Andere, hoger dan het geluk, vereist dit geluk, deze autonomie van het zintuiglijke in de wereld*" (1987a, p. 67). In mijn eigen woorden: een mens moet zelf het geluk van het 'goede leven' hebben genoten, om aan verantwoordelijkheid voor het leven en het geluk van een ander te kunnen toekomen. Daarom noemt Levinas het egoïsme van genieten en spelen ook 'onschuldig'. Dit inzicht lijkt mij pedagogisch relevant. Het lijkt mij wijs wanneer opvoeders kinderen en jongeren de ruimte geven om onbekommerd te leren genieten en spelen, ook al is dat egocentrisch, in plaats van met voorbarige morele oordelen te voorkomen dat zij aan spelen en genieten toekomen.

In de tweede plaats vind ik het wijs en herkenbaar, om te stellen dat met deze eerste dimensie vorming niet af is. De reden daarvoor is, dat de genietende persoon in het genieten als het ware een gesloten cirkel maakt met zichzelf. In het genieten ontleent het subject de zin van zijn bestaan aan zichzelf, aan zijn eigen bestaan (1987a, p. 105)²²². Het mysterie van zingeving houdt in, dat dit genieten op den duur zijn zin verliest wanneer een mens de rijkdom van dit genieten alleen voor zichzelf behoudt. Die rijkdom heeft, om zijn zin te behouden, een bestemming buiten zichzelf nodig. Dit 'nodig hebben' noemt Levinas 'de behoefte van onze rijkdom'²²³. Deze 'behoefte' uit zich als het verlangen²²⁴ naar een externe actor, die mijn gesloten cirkel met mijzelf van buitenaf doorbreekt. Die externe actor duidt Levinas meestal aan als 'de Ander'. Die Ander doorbreekt mijn cirkel niet met macht of geweld, maar door de confrontatie met zijn kwetsbaarheid, die een ongevraagde en indiscrete verstoring van mijn zelfgenoegzame genieten en spelen bewerkstelligt. Deze confrontatie roept mij op tot verantwoordelijkheid voor een ander uniek en oorspronkelijk leven dan het mijne, en schenkt mij zodoende een zingevende ervaring die 'hoger' is (zie het vorige cursieve citaat) dan het eigen geluk. Die ervaring bevrijdt mij uit de cirkel waarin ik met mijzelf opgesloten zit en pro-

²²² Volgens een voetnoot van De Boer verwijst Levinas hier impliciet naar Heidegger die dit in *Sein und Zeit* (org. ed. p. 143) verwoordt als: "het er-zijn is een zijnde dat het als in-de-wereld-zijn om zichzelf gaat" (1998, p. 190).

²²³ Vertaling van "indigence de la richesse" (1968, p. 34; 1987a, p. 68). Levinas benoemt dit 'nodig hebben' elders als: "la πείνα du ποροσ" (1968, p. 87; 1987a, p. 129). Levinas verwijst op beide plaatsen naar een mythe die door Plato beschreven wordt (in het Symposium), en waarin de liefde wordt voorgesteld als kind van ποροσ en πείνα (rijkdom en armoede). Zo gezien, is het genieten de rijkdom van onze behoefte, en is het verlangen naar de Ander de behoefte van onze rijkdom.

²²⁴ Deze 'behoefte' is dus in de termen van Levinas geen behoefte ('besoin'), maar een verlangen ('désir'). Zie voor een eerdere uiteenzetting van het onderscheid dat Levinas maakt tussen 'behoefte' en 'verlangen' voetnoot 192 op pagina 508.

moveert mijn onafhankelijkheid tot vrijheid (Keij, 2006, p. 271; 1968, p. 175). Levinas verstaat onder vrijheid "*de mogelijkheid voor een persoon, om het appèl gericht aan die persoon te beantwoorden door iets te doen wat niemand anders in zijn plaats kan doen*" (1986, p. 8). Levinas hecht eraan om vrijheid in de eerste plaats positief te formuleren, als 'vrijheid-tot'. Natuurlijk is er geen vrijheid als er dwang is, maar afwezigheid van dwang of noodzaak is nog geen vrijheid (1986, p. 8). Vrijheid is pas echt vrijheid als zij een zin buiten zichzelf heeft, waarmee een persoon zich verbindt. Vrijheid is pas echt vrijheid wanneer zij bekleed is met verantwoordelijkheid, en anders is het willekeur (1987a, pp. 92-98, 228). Ook dit inzicht lijkt mij pedagogisch zeer relevant. In de eerste plaats omdat kinderen en jongeren aan opvoeders dergelijke doorbrekende ervaringen kunnen berokkenen, zoals Levinas bedoelt. Wanneer opvoeders jongeren werkelijk willen ondersteunen om vorm te geven aan een ánder leven dan het leven van de opvoeder zelf, dan moeten zij zich niet afsluiten voor confrontaties met de absolute andersheid van ieder kind en van iedere jongere.

Daarnaast zullen opvoeders die zelf de waarde van deze 'hogere' zingevende ervaringen hebben leren kennen, dergelijke ervaringen ook aan kinderen en jongeren gunnen. Maar, volgens Levinas hoeven opvoeders het principe van de ontvankelijkheid voor deze ervaringen niet aan kinderen te leren. Naar zijn overtuiging impliceert mens-zijn als zodanig al een oorspronkelijke goedheid (1986, p. 9)²²⁵. In situaties van schrijnend onrecht kan het wel zinvol zijn dat opvoeders jongeren aan hun oorspronkelijke goedheid herinneren. Opvoeders moeten dan echter niet denken dat zij aan jongeren precies kunnen voorschrijven aan welke verantwoordelijkheden zij een zin buiten zichzelf kunnen of moeten ontlenen²²⁶. In essentie zal het er in de opvoeding om gaan, om het leerproces aan te moedigen dat te ontlenen is aan de 'hogere' zingevende ervaringen waar ieder mens in oorsprong ontvankelijk voor is. Leraren kunnen dat leerproces ondersteunen door hun eigen ervaringen daarmee in te brengen, door leerlingen uit te nodigen hun ervaringen in te brengen, door er verhalen over te vertellen (uit de geschiedenis van het schoolvak dat zij onderwijzen), door leerlingen uit te nodigen tot onderling gesprek en allerlei andere vormen van expressie, et cetera. Daarom zal ik in het volgende gedeelte nog aandacht besteden aan deze tweede dimensie van vorming, onder andere in relatie tot fysica.

²²⁵ Voor die oorspronkelijke goedheid van de mens is volgens Levinas geen God of zijn genade nodig (1986, p. 12). Vooral ethisch gezien is de mens een wezen "dat in staat is tot atheïsme" (1986, p. 18).

²²⁶ Levinas pleit voor een ethiek "die niet geschikt is voor een zedenpreek" (1986, p. 11), een ethiek die je niet van een ander kunt eisen, maar alleen van jezelf (1986, p. 12). In situaties echter, waarin 'derden' het slachtoffer zijn van schrijnend onrecht, kan een 'profetische aanklacht' op zijn plaats zijn (zie pagina 545).

2.b Zingevende ethische onderbreking

Hét begrip dat in Levinas' filosofie symbool staat voor onderbreking, doorbreking, overschrijding, of transcendentie is: '*het gelaat*'²²⁷. Deze term neemt een centrale positie in, in een complex weefsel van betekenissen waarvan ik hier slechts enkele draden kan volgen. Om te beginnen wil hij met dit begrip een wonderlijke dubbelheid beschrijven van de verschijning van de andere mens in mijn wereld (1986, pp. 7-8). Enerzijds maakt die andere mens deel uit van *mijn* wereld en heeft hij daarin de betekenis die hij voor mij heeft, en die ik aan hem toeken. De ander die deel uitmaakt van mijn wereld is *mijn* leraar, *mijn* leerling, *mijn* vrouw, *mijn* moeder, *mijn* postbezorger, et cetera. Anderzijds kan de ander tegelijk dit hele vanzelfsprekende schouwspel van een wereld waar ik het middelpunt van ben doorbreken. Niet door mij te imponeren, of door macht of geweld op mij uit te oefenen, maar juist door zijn kwetsbaarheid, waar een woordeloze 'beschuldiging', 'gebod', 'roeping' of 'appèl' van uitgaat dat mij in mijn kern raakt. Die kwetsbaarheid confronteert mij met een existentiële keuze die ongevraagd op mijn bord gelegd wordt. Die kwetsbaarheid zegt mij dat ik voor de keuze sta om óf de ander 'rücksichtslos' ondergeschikt te maken aan mijn projecten in mijn wereld (gebruiken, inhuren, kopen, negeren, bestrijden, uit de weg ruimen, ...), óf mij het lot van de ander aan te trekken, mijn projecten te parkeren, en mijzelf in dienst van de Ander te stellen. Levinas vat deze dubbelheid samen als: *Het gelaat is "dat wat zich leent tot moord en dat wat zich verzet tegen moord"* (1986, p. 7).

Eén van de redenen waarom Levinas 'de Ander' vaak met een hoofdletter schrijft hangt samen met de manier waarop hij de bovenstaande dubbelheid interpreteert in het licht van de Joodse traditie waarin hij is opgevoed. Hij formuleert: de verschijning van het gelaat is "*wat ik noem het woord van God in het aangezicht van de ander*" (1986, p. 7). Hij brengt de verschijning van het gelaat (die meer is dan een 'verschijnsel'²²⁸) in verband met twee centrale geboden uit de Thora.

In de eerste plaats het gebod "Gij zult niet doden". Daarover zegt Levinas: "*Er zijn 1001 manieren om iemand te doden, het is niet alleen met een revolver dat je de ander doodt, men kan de ander doden door onverschillig te zijn, door zich niet met hem bezig te houden, door hem te verlaten.*" (1986, p. 7). Typerend voor Levinas' voorkeur om zich vooral op

²²⁷ Het is ondoenlijk om hierbij verwijzingen te geven, omdat deze uitdrukking in zoveel werken van Levinas zo veelvuldig voorkomt. Ik heb mijzelf hier in hoofdzaak beperkt tot verwijzingen naar de IKON-transcriptie van het interview met France Guwy, dat op 9 mei 1986 op de Nederlandse televisie te zien was (de uitzending is verkrijgbaar via www.beeldengeluid.nl). In dat interview gaf Levinas zelf heldere samenvattingen van kernpunten uit zijn filosofie. In 2008 is de Nederlandse vertaling van dit interview ook gepubliceerd in (Guwy, 2008).

²²⁸ Om dit 'meer zijn dan een verschijnsel' te benoemen gebruikt Levinas regelmatig de oude religieuze term 'epifanie' (1968, p. 161 e.v.).

het Goede te concentreren is, dat hij dit gebod ook omgekeerd formuleert als: "*Gij zult mij doen leven*" ("*Tu me feras vivre*"). In deze laatste vorm houdt dit gebod een heel programma in.

In de tweede plaats interpreteert hij de verschijning van het gelaat in hetzelfde interview in het licht van het gebod "Hou van je naaste als van jezelf". Levinas keurt de gangbare interpretatie, die inhoudt dat ik eerst van mijzelf moet leren houden om te weten hoe ik ook van een ander kan houden, sterk af. Hij stelt: je bent niet zelf het model dat als maatstaf geldt voor het wat en hoe van je liefde voor een ander. Dit gebod betekent: "*hou van je naaste, dat is wat je zelf bent, dat is je eigen ik*" (1986, p. 15). Hiermee licht hij langs een andere invalshoek weer toe wat ik hierboven beschreef als de 'behoefte van onze rijkdom'. Je kunt proberen je 'ik' en je 'zelf' te handhaven door de cirkel van het zelfgenoegzame genieten en spelen te handhaven²²⁹. Maar toch raak je jezelf dan op den duur kwijt. Het paradoxale is, dat je juist de doorbreking van die cirkel nodig hebt, de doorbreking die maakt dat je jezelf vergeet, om weer te ontdekken wie je in wezen bent, om jezelf weer terug te vinden.

Door 'het gelaat' zo centraal te stellen, als symbool voor de kwetsbare Ander die een beroep doet op mijn generositeit, geeft Levinas ook een zijns inziens noodzakelijke aanvulling op, en correctie van, de filosofie van Sartre. In diens filosofie staat 'de blik van de ander' (*le regard d'autrui*) voor de ervaring, dat ik gevangen wordt in de beoordelende blik van een ander, en dat ik in die blik gereduceerd word tot een object in diens wereld (1943, p. 298 e.v.). Voor zijn analyse van intermenselijke verhoudingen neemt Sartre deze ervaring van "*autrui me regarde*" ('de ander bekijkt mij') als maatgevend voorbeeld (1943, p. 303)²³⁰. Zonder de realiteit van deze ervaring te ontkennen betoogt Levinas dat men zich kan realiseren dat precies deze zelfde uitdrukking "*autrui me regarde*" ook betrekking kan hebben op een geheel andere ervaring. En dat men, om de realiteit van het Goede op het spoor te komen, deze andere ervaring als uitgangspunt moet nemen. Om dit duidelijk te maken knoopt hij aan bij de dubbele betekenis van het Franse werkwoord *regarder*. "*Autrui me regarde*" betekent ook '*de ander gaat mij aan*'²³¹ (1986, p. 12), en dan betekent de ervaring van 'de ander ziet mij aan' tegelijk 'de ander gaat mij aan'. En zo komt Levinas dan precies uit bij de zijns inziens veel belangrijker ervaring, die hij ook beschrijft als de ervaring van 'het gelaat van de Ander'.

²²⁹ In dit verband verwijst Levinas naar Spinoza, die stelt dat alle levende wezens ernaar streven om 'te volharden in hun zijn', en dat ook de hoogste daad van God voor de mens erin bestaat "te volharden in zijn 'zijn'". Levinas kwalificeert deze stellingen als dwaasheid. "Deze orde moet doorbroken worden, kan doorbroken worden, ..." (1986, p. 10).

²³⁰ Sartre bestempelt daar deze ervaring van "*autrui me regarde*" als "*la description de cette liaison fondamentale qui doit faire la base de toute théorie d'autrui*", kortom als 'paradigma'.

²³¹ Een spoor van deze tweede betekenis is in plechtig ouderwets Nederlands te herkennen, in de uitdrukking "dat regardeert mij".

Een andere reden om 'de Ander' met een hoofdletter te schrijven hangt samen met de essentiële asymmetrie die deze 'oerervaring' kenmerkt. De kritische, beschuldigende, appellerende, confronterende, doorbrekende betekenis van deze ervaring heeft uitsluitend betrekking op *mij*. Een poging om de ander met gelijke munt terug te betalen, door ook de ander verantwoordelijk te stellen, staat gelijk aan een poging om onder de exclusief aan *mij* toekomende verantwoordelijkheid uit te komen. Onder verwijzing naar Dostojevski zegt Levinas: *wanneer je de oorspronkelijke verantwoordelijkheid omzet in termen van handel, van ruil, van gelijkheid, dan heb je de betekenis van deze fundamentele menselijke ervaring reeds ontkend*. De Ander moet met een hoofdletter geschreven worden omdat in deze ontmoeting de ander drager is van een moreel gezag dat niet wederkerig is²³². "Ik ben zelf voor alles degene die verplicht is, en de ander is voor alles degene tegenover wie men verplicht is" (1986, pp. 13-14). Daarom gaat het hier om een elementaire verantwoordelijkheid die alleen aangenomen kan worden, en die naar haar aard niet opgelegd, opgedrongen of voorgehouden kan worden. "Ik kan het voor mijzelf accepteren, maar het voorstellen/opleggen aan anderen staat voor mij gelijk aan het gemak van een theologische babbel" (1986, p. 14). Hier komen we opnieuw Levinas' hartgrondige afkeer van moraliseren tegen.

Met dit alles wil Levinas zeker niet het bestaan en het belang van de ervaringen bestrijden die ik hiervoor beschreef als '*dialogoog*', en die ik in verband met fysica toespitste op de creatieve communicatie waarin het samen zoeken naar waarheid centraal staat (pagina 507 e.v.). Hij betoogt alleen, dat dialogische communicatie en samenwerking pas mogelijk zijn op grond van de meer fundamentele ethische erkenning -waartoe alleen de confrontatie met het gelaat een mens kan brengen- dat een mens de wereld met anderen deelt en ook *behoort* te delen. En vervolgens betoogt hij dat die 'onteigening' ons pas in staat stelt om een 'objectieve' wereld met behulp van taal aan elkaar *mede* te delen²³³. Op grond van die basale ethische erkenning (die wij gemakkelijk vergeten) hebben wij ook symmetrische relaties met anderen, zoals bij dialogische communicatie en samenwerking. In dergelijke relaties zijn wij voor elkaar '*discrete anderen*' (1968, p. 128) omdat wij elkaar in een gelijkwaardige samenwerking over en weer bevestigen, en het confronterende van het gelaat niet (meer) aan de orde is.

²³² Levinas spreekt in dit verband ook van 'onderwijzing' (enseignement). Zie bijvoorbeeld (1968, p. 146). Daarmee is echter bedoeld dat *ik* deze les van buitenaf aangeleerd moet krijgen, en het sluit uit dat ik als 'onderwijzer' in de positie kan zijn om een ander deze les te leren.

²³³ Dit is een verkorte en vereenvoudigde parafrase van het betoog van Levinas waarin hij uiteenzet dat de ontmoeting met 'het gelaat' ook ten grondslag ligt aan het menselijke vermogen om in termen met een gedeelde betekenis de wereld te bespreken. 'Gedeelde betekenissen' vooronderstellen volgens Levinas de 'onteigening' van de wereld waarin alles 'om mij draait' door het gelaat van de Ander. En deze 'onteigening' ligt weer ten grondslag aan ons concept van 'objectiviteit' (1968, p. 184 e.v.).

In hoofdstuk 2 (§ 3 / *Kenmerken en termen*) noemde ik al dat vorming *verbijzondert*. Dat, en hoe, dit verbijzonderen al opgaat voor de dimensie van genieten en spelen is hiervoor beschreven op pagina 524 e.v.. Maar, volgens Levinas wordt deze verbijzondering onderstreept en op een hoger niveau gebracht door de ontmoeting met het gelaat. Door het appèl, of de roeping, van de Ander word ik 'uitverkoren' om te doen wat niemand anders kan doen (1986, p. 8), om uit mijn rijkdom te geven wat niemand anders geven kan. De uniciteit en originaliteit, die in de autonomie van mijn genieten en spelen al vorm gekregen hebben, worden zodoende onderstreept. Maar bovendien doorbreekt die oproep de cirkel, c.q. de grenzen, waarin ik mijn leven als doel in zichzelf geniet. Uit het lood geslagen raak ik niet alleen mijn middelpunt, maar ook mijn grenzen kwijt. Zoals men tegenwoordig ook wel zegt: 'ik moet over mijn eigen schaduw heen springen'. Ik kan zelf de grens van mijn verantwoordelijkheid niet bepalen. In principe is mijn verantwoordelijkheid nooit af of klaar, maar 'on-eindig'. Omdat ik de bijzonderheid van mijn verantwoordelijkheid niet zelf in de hand heb (zoals bij mijn bijzonderheid in de vorige dimensie van vorming nog wel min of meer het geval was) krijgt mijn bijzonderheid nu een nieuwe dimensie. Levinas beschrijft deze extra verbijzondering van mijn bijzonderheid als "*exaltation de la singularité*" ('verheffing van de singulariteit') (1968, p. 222)²³⁴.

'Het oneindige' geeft bij Levinas in de eerste plaats uitdrukking aan de onbevattelijkheid van de ethische onderbreking waaraan ik mijn vorming te danken heb. Hij geeft expliciet voorrang aan deze ervaring van oneindigheid, boven de oneindigheid die ik moet verdedigen tegen totalitaire systemen, in naam van de creatieve vrijheid om te genieten en te spelen²³⁵. Een dergelijke verdediging verliest het van de harde en totalitaire realiteit van de oorlog, en van haar objectieve noodzakelijkheden (1968, p. XIV; 1987a, pp. 19-20). Levinas zoekt de sterkst mogelijke verdediging tegen de totaliteit van de oorlog, en vindt die in de subjectiviteit die haar oorsprong heeft in de ontmoeting met het gelaat. Over deze ontmoeting schrijft hij: "De harde wet van de oorlog breekt stuk op het oneindige – dat objectiever is dan de objectiviteit". En over de doelstelling van *Totalité et Infini* schrijft hij in het voorwoord: *Dit boek dient zich dus aan als een verdediging van de subjectiviteit, maar deze wordt niet begrepen op het vlak van haar zuiver egoïstische protest tegen de totaliteit (...) maar als gefundeerd in de idee van het oneindige* (1968, p. XIV; 1987a, p. 20). Om te begrijpen waarom Levinas ervan overtuigd is dat dit oneindige ster-

²³⁴ 'Verheffing van de singulariteit' is mijn eigen vertaling. Levinas sluit hier aan bij een filosofisch taalgebruik waarin bijzonderheid, die niet als instantie van een algemene categorie gezien kan worden, aangeduid wordt als '*singulariteit*'.

²³⁵ Einsteins eerder genoemde verzet tegen totalitaire systemen, en zijn engagement voor een maatschappij die ruimte geeft aan 'ware kunst' en aan 'ware wetenschap' kan gezien worden als een voorbeeld hiervan (zie pagina 524). En daarnaast is natuurlijk ook Huizinga's eerder beschreven protest tegen totalitaire systemen, op grond van zijn inzicht in de waarde van 'spelen', een voorbeeld hiervan (zie pagina 527 e.v.).

ker is dan de harde realiteit van de oorlog, kan ik het beste aanknopen bij zijn bespreking van de "*idee van het oneindige*" volgens Descartes.

Het bekende twijfel-experiment van Descartes is in dit hoofdstuk al eerder kort aan de orde geweest (pagina's 349 en 351). In de loop van dit twijfel-experiment ontdekt Descartes twee zekerheden waaraan volgens hem onmogelijk getwijfeld kan worden:

1. Er kan niet getwijfeld worden aan het eigen twijfelen, dat een onderdeel vormt van ieders innerlijke leven (denken, voelen, fantaseren, et cetera) ofwel van ieders 'cogito'. Vandaar: *cogito, ergo sum* (ik denk, dus ik besta).
2. Onder de voorstellingen ('ideeën') die de 'denker' in zijn gedachten heeft komt één bijzondere voorstelling voor, namelijk de idee van een absoluut volmaakt wezen, God. Het bijzondere van dit idee is, dat het oneindig is in de zin van té groot voor mijn bevattingsvermogen. Mijn gedachten zijn immers zelf bepaald niet volmaakt, wat al blijkt uit het gegeven dat ik van zo weinig zeker ben en geplaagd word door twijfel. Hoe kan dan het idee van een volmaakt wezen toch veroorzaakt zijn in de denkwereld van een denker die zó beperkt en onvolmaakt is? De conclusie van Descartes is, dat de eindige denker niet zelf die oorzaak kan zijn van dit idee, en dat alleen God zelf er de oorzaak van kan zijn. Zodoende is, wat Descartes betreft, ook het bestaan van God bewezen (Keij, 2006, pp. 273-274).

Wat Levinas aanspreekt in deze gedachtegang van Descartes is de erkenning dat het denken zich kan richten op een werkelijkheid die het niet bevatten kan, ofwel de erkenning van een ideatum dat de idee ervan te buiten gaat. En, wat Levinas ook aanspreekt, is de conclusie dat deze gegevenheid van overschrijding getuigt van een werkelijkheid waar ik niet zelf de oorsprong of het middelpunt van ben.

Het verschil met Descartes begint bij de opvatting van oneindigheid. Terwijl Descartes de oneindigheid interpreteert als *té groot* voor ons denken, interpreteert Levinas deze oneindigheid als *té anders* voor ons denken. Voor Levinas is de Ander wiens gelaat mij gebiedt "Jij zult mij doen leven" oneindig, omdat de ander onnavolgbaar *van mij verschilt*. De waarheid van de ander is precies wat ik van de ander *niet* begrijp. Die absoluut verschillende Ander zaait in mij de twijfel aan de rechtvaardiging van mijn vrijheid. En, volgens Levinas is het díe fundamentele twijfel die aan de oorsprong ligt van mijn ontdekking, dat mijn perspectief op de wereld, als een wereld waar ik het middelpunt van ben, niet het enig mogelijke perspectief is, maar dat er ook –vanuit een ander gezichtspunt– een kritische blik mogelijk is op mijn zelfgenoegzame creatieve omgang met mijn wereld. Díe ontdekking bezorgt mij de mogelijkheid van ex-centriciteit (Plessner, 1928), de mogelijkheid om mijzelf als het ware te beschouwen door de ogen van een ander, om *over* mijzelf te reflecteren. Die ontdekking bezorgt mij mijn zelfbewustzijn. Het '*conscience morale*' (ethisch besef) is dus niet één van de modaliteiten van '*conscience*' (bewustzijn), maar de oorsprong en de voorwaarde daarvan (1968, p. 74). Eén van de bijkomende consequenties is, dat 'twijfel' in het denken van Levinas veel hoger staat aangeschreven dan bij Descartes. Twijfel is het begin van denken. En de Ander is de oorsprong van mijn twijfel. Daarom zou Levinas kunnen schrijven: "ik denk, dus *jij* bestaat" (Keij, 2006, p. 276).

Omdat die verantwoordelijkheid-voor-de-ander zó keihard voorwaardelijk is voor ons bewuste bestaan als mens in een met anderen gedeelde wereld²³⁶, daarom breekt zelfs de harde wet van de oorlog volgens Levinas stuk op de waarheid van het oneindige, die objectiever is dan de objectiviteit.

Om te kunnen ervaren, dat de cynische logica van de oorlog niet het laatste woord heeft, is het dus van essentieel belang dat wij ethische onderbreking toelaten en bereid zijn om daarvan te leren. Het is echter de paradox van onze vrijheid, die we volgens Levinas in de grond van de zaak aan deze onderbreking te danken hebben, dat we ook de vrijheid hebben om ons van die onderbreking af te sluiten en om onszelf (en elkaar) in die afsluiting gevangen te zetten. Vorming, als het leren van ethische onderbreking, is dus geen vanzelfsprekende zaak, en het loont zeker de moeite om er als opvoeders over na te denken hoe deze vorming ondersteund kan worden.

2.c Verschil en samenhang; wonen in het andere

Om het zicht op deze twee dimensies van vorming nog iets verder te verhelderen zal ik nu ingaan op enkele aspecten van de verschillen tussen deze twee dimensies, en op enkele aspecten van hun onderlinge samenhang. Daarbij beperk ik mij hier tot hoofdzaken. Een meer volledige doordenking zou een aparte studie vragen.

Een eerste cruciaal verschil hangt samen met de verschillende soort van 'overschrijding' van ons bevattingsvermogen, die ten grondslag ligt aan de ervaring van een 'mysterie', of die ten grondslag ligt aan de ervaring van 'het gelaat'. Een dergelijke 'overschrijding' wordt in de filosofie vaak in één begrip samengevat als '*transcendentie*'. Er is dus een cruciaal verschil tussen de transcendentie van 'het mysterie' en de transcendentie van 'het gelaat'. Hiervoor heb ik dat verschil al getypeerd door te schrijven dat het mysterie 'té groot' is (o.a. pagina 522), en dat de Ander 'té anders' is (pagina 536).

Een ander aspect van het verschil tussen deze twee vormen van transcendentie is het verschil in positionering van het 'ik' of het 'zelf' in zijn wereld. In het ene geval kan het 'ik' een centrumpositie innemen, en in het andere geval wordt het 'ik' gedecentreerd.

De ervaring van de transcendentie die té groot is laat mij toe om mij te 'nestelen' in dat grotere geheel waar ik deel van uitmaak. Dit 'in-nestelen' bespreekt Levinas als 'wonen in het andere' (1968, pp. 125-149). Ons lichaam is, zo gezien, de eerste 'bewoonbare plaats' waar mijn mijzelf-zijn 'vaste voet aan de grond krijgt' (van Riessen, 1984, pp. 334-336; 1991, pp. 156-167). Het eigen lichaam is de primaire 'woning'. Daar ben ik 'thuis' bij mijzelf. Dit hangt samen met de vele mogelijkheden van toe-eigening die op mijn lichamelijk-zijn gebaseerd zijn. 'Er is honger' kan toegeëigend worden als '*ik* heb

²³⁶ Zie ook voetnoot 233 op pagina 534.

honger', 'er is vermoeidheid' kan toegeëigend worden als 'hier word *ik* moe van', et cetera²³⁷. Die toe-eigening hangt direct samen met mijn vermogen om meer te zijn dan een passieve slaaf van zulke behoeften als honger of vermoeidheid. 'Ik ben thuis bij mijzelf' impliceert het samengaan van vertrouwdheid en afstand waardoor ik 'mij kan verhouden tot' mijn behoeften, 'ermee om kan gaan', 'er iets van kan vinden' (vervelend, lastig, hinderlijk, ...), maar 'er ook iets van kan maken', zoals zich dat uit in genieten en spelen. "Zo, genietend, ontstaat er innerlijk leven en het bewustzijn van 'ik'" (van Riesen, 1984, p. 339).

Ondanks de toe-eigening van mijn lichamelijke kan ik de transcendente andersheid ervan niet opheffen. Ook in mijn lichamelijke blijft een onuitroeibare rest van 'andersheid' die aan mij ontsnapt, en die van toe-eigening een permanente opgave maakt. Tieners kunnen bijvoorbeeld de lichamelijke-psychische veranderingen die de puberteit hen brengt in eerste instantie ervaren als ontwikkelingen die hun ongevraagd overkomen, en die hen voor de moeilijke opgave stellen om hun 'ik' te hervinden en te huisvesten in een veranderde woning. Andere uitspraken over lichamelijke, bijvoorbeeld dat mijn lichaam 'mij in de steek laat', of 'teleurstelt', of zelfs 'verraadt', wijzen op vergelijkbare ervaringen. Onze projecten kunnen hinderlijk en ongevraagd doorkruist worden door ziekte of ouderdom. Al deze ervaringen bewijzen dat wij ons lichamelijke zijn, dat wij om te beginnen al niet zelf uitgevonden hebben, nooit geheel 'naar onze hand kunnen zetten'. Wij kunnen bij dergelijke ervaringen het kunststuk van toe-eigening nog vaak herhalen, maar dat kunststuk blijft door die onuitroeibare andersheid een permanente opgave.

Het lijkt mij dat de visie van Polanyi op 'tacit skills' interessante raakvlakken heeft met de visie van Levinas op lichamelijke als 'wonen in het andere'. Bijvoorbeeld met betrekking tot de fundamentele rol van aangeboren vaardigheden. Van aangeleerde vaardigheden kan ik nog betrekkelijk goed nagaan wat het gebruik ervan mij oplevert, en in veel gevallen kan ik kiezen of ik die vaardigheden al of niet gebruik. Ook al gebruik ik die aangeleerde vaardigheden vaak onbewust ('tacit'), ze zijn in veel gevallen wel bewust te maken, en in die zin 'bekend gebied'. Maar, de meest elementaire vaardigheden, die mij onder andere in staat stellen om nieuwe vaardigheden aan te leren, die berusten op een dieper liggend 'aangeboren' niveau van vaardigheid, dat ik bij dit leren gebruik zonder te weten 'hoe ik dit doe'. Dat zijn vaardigheden die ik niet *niet* kan gebruiken. En, volgens de hoofdwet van Polanyi (pagina 489 e.v.) kan ik nooit tegelijk de ondersteunende vaardigheden kennen, en datgene waar de focus van mijn aandacht (dankzij die ondersteuning) op gericht is. Daarom blijft dit elementaire niveau van mijn lichamelijke vermogens altijd in de schaduw, altijd 'tacit'. Mijn lichamelijke is –anders gezegd– het eerste 'instrument' dat al mijn waarnemen, kennen en handelen mogelijk maakt. Maar, juist als 'eerste instrument' is het geen instrument, is het geen artefact dat ik of een ander mens gemaakt heeft, is het geen kenbare interface zoals alle andere 'ver-

²³⁷ Door mij uitvoeriger uitgewerkt in *Wonen in het andere, en het verlangen om te Zijn* (1986).

lengstukken' van mijn lichamelijkheid, die ik ook *niet* kan gebruiken en zodoende tot voorwerp van mijn aandacht kan nemen. Van dit elementaire niveau kunnen we slechts een klein deel vermoeden of begrijpen, maar we kunnen er nooit helemaal 'bij'²³⁸. De vaardigheden, waarvan ik soeverein zeg "ik kan ...", zijn op mysterieuze wijze ingebed in processen waar mijn soevereiniteit afhankelijk van is, en die ik niet zelf in de hand heb. 'Wonen in het andere' is de beknopte samenvatting van de mysterieuze relatie met het andere, waarin een essentieel deel van mijn 'subjectwording', ofwel vorming, zich afspeelt.

In *Totalité et Infini* laat Levinas zien dat het 'wonen in het andere', dat begint bij lichamelijkheid, in steeds ruimere kringen, en in essentiële aspecten van mens-zijn herkend kan worden (1968, pp. 125-149). Ten behoeve van mijn onderzoek zal ik dit herkennen nu in eigen woorden en op eigen wijze iets verder uitwerken.

De eerste ruimere kring is uiteraard het wonen in een huis. In veel gevallen is dit wonen ook *samenwonen* met huisgenoten. Het huis is een veilige plek waarin ik mij kan terugtrekken. In het huis hoef ik –als het goed is– niet te vechten om te overleven, niet voortdurend rekening te houden met het oordeel van anderen (de sartrianse blik). In het huis, waar ik mij thuis en veilig voel, kan ik kwetsbaar en spontaan mijzelf zijn. In dat huis kan ik onbekommerd genieten en spelen. In andere woorden: in een veilig huis kan ik toekomen aan het goede leven. Zo'n huis is een goede 'uitvalsbasis' voor mijn verkenningstochten in de buitenwereld, en een 'vluchthaven' waar ik een 'goed heenkomen kan zoeken' wanneer het mij daarbuiten te veel geworden is. Toen mijn dochter klein was, en haar op school een ongelukje was overkomen, vluchtte zij naar huis, zocht de kamer op waar ik aan het werk was, liet zich troosten, en viel daar op de bank in slaap met haar pijnlijke voet in haar hand. De anderen, de huisgenoten, zijn –als het goed is– mensen die ik vertrouwen kan, en bij wie ik mij thuis en veilig voel. In een dergelijk huis wordt aan ieder zijn eigen plaats gegund. Van een huis dat aan deze kwaliteiten voldoet kan ik zeggen dat het 'mijn thuis' is. Het lijkt mij dat Levinas er volkomen gelijk in heeft, dat het 'wonen' met deze kwaliteiten een essentiële voorwaarde is voor subjectwording, voor vorming. Wanneer opvoeders vorming willen ondersteunen dan kunnen zij daar dus vorm aan geven door in de eerste plaats zorg te dragen voor een veilig thuis.

Ruimere kringen waarin ik mij wel of niet thuis kan voelen, zijn de sociale verbanden waar ik 'buitenshuis' aan deelneem. De school is daar voor kinderen en jongeren een belangrijk voorbeeld van. Ook de school kan een omgeving zijn die toelaat en ondersteunt dat ik leer om mij daar thuis te gaan voelen. Ook dat gebeurt wanneer ik op

²³⁸ Zie ook het al eerder genoemde onderscheid tussen 'subjectieve lichamelijkheid' en 'objectieve lichamelijkheid', die wel met elkaar te maken hebben maar niet tot elkaar te herleiden zijn (deel II, hoofdstuk 8, § 1.b). Op de transcendentale rol van 'subjectieve lichamelijkheid' ben ik uitvoeriger ingegaan in *Het verzwegen lichaam en de onwetendheid van de wetenschap* (1985).

school niet voortdurend hoeft te vechten om te overleven, en niet voortdurend onder het juk moet doorgaan van 'het boze oog' van anderen die mij be- of veroordelen. Ook dat gebeurt alleen wanneer er op school momenten en ruimten zijn waarin ik kwetsbaar en spontaan mijzelf kan zijn. Ofwel, wanneer er ook op school ruimte is om onbekommerd te genieten, te spelen, en te experimenteren. Met andere woorden: wanneer ik op school kan toekomen aan 'het goede schoolleven'. Zo'n school is een goede 'uitvalsbasis' om nu en later de grotere maatschappij te verkennen en, zolang als ik op school zit, een toevluchtsoord waar ik 'op verhaal kan komen'. Onder de anderen, de schoolgenoten, ken ik een aantal mensen die ik vertrouwen kan, die mij ook kennen, en bij wie ik mij thuis voel. In de school waar ik mij thuis voel is mij een eigen plek gegund. Van een school die aan deze kwaliteiten voldoet kan ik zeggen dat het 'mijn school' is, waar ik mij thuis voel. Natuurlijk is het schoolleven ook werkelijk 'wonen in het andere' omdat ik daar ingewijd word in een cultuur die in een eeuwenlang proces en door ontelbare mensen gevormd is. De dimensies van die cultuur zijn veel te groot voor mijn bevattingsvermogen. Op school word ik -als het goed is- niet overweldigd door die cultuur, maar leer ik bij stukjes en beetjes om dit 'andere' mij 'eigen te maken'. Zo word ik niet alleen gevormd *door* die cultuur, maar in de toe-eigening leer ik om ook zelf vorm te geven *aan* die cultuur. Wanneer leraren en schoolleiders de vorming (subjectwording) van leerlingen willen ondersteunen, dan kunnen zij daar vorm aan geven door in de eerste plaats zorg te dragen voor een school die speelse toe-eigening ondersteunt, en die voor alle schoolgenoten een 'thuisbasis' kan zijn²³⁹.

In de schoolvakken maken leerlingen kennis met verschillende manieren waarop mensen, in de loop van de cultuurgeschiedenis, vorm hebben gegeven aan het 'wonen in het andere'. Fysische vakken, zoals natuurkunde en scheikunde, zijn daar ook voorbeelden van. Door middel van fysisch onderzoek hebben mensen geleerd om zich aspecten van de natuur kennismatig toe te eigenen. De invarianties die we leren kennen maken de natuur begrijpelijker, vertrouwder en hanteerbaarder. Door die kennis kunnen we natuur in cultuur brengen, er zelf 'iets maken'. De uitdrukking die ik eerder gebruikte 'dat in ons de natuur haar ogen opent' geeft op welsprekende wijze de dubbelheid aan van:

- enerzijds de vreugdevolle ervaring van subjectwording: *mijn* ogen gaan open, *ik* begrijp ..., *ik* kan berekenen en voorspellen dat ..., *ik* kan die kennis gebruiken zoals *ik* dat wil ..., et cetera,

²³⁹ Burggraave, wiens pedagogische interpretatie van Levinas mij pas onder ogen kwam nadat ik mijn eigen interpretatie al had uitgewerkt, beschrijft dit aspect van de ondersteuning door opvoeders als 'verantwoordelijkheid voor het 'zijn' en de ontplooiing van kinderen en jongeren' (2015a, pp. 120-126). De Levinas-interpretatie van Burggraave bleek in hoofdlijnen overeen te stemmen met de interpretatie waar ik zelf toe gekomen was. Burggraave ontwikkelt zijn interpretatie echter vanuit meer kennis van en dieper inzicht in het denken van Levinas. Burggraaves deel III in *Meerstemmig opvoeden vandaag* (2015b) kan ik daarom van harte aanbevelen.

- en anderzijds het besef dat deze subjectwording alleen mogelijk is dankzij mijn inbedding in allerlei mysterieuze processen in mijzelf en buiten mijzelf, en dus ook in de natuur waar ik onlosmakelijk deel van ben, en die veel te groot zijn voor mijn bevattingsvermogen.

Voor een goede inwijding in dit cultuuraspect lijkt het mij van groot belang dat leraren, als pedagogische leiders, vorm geven aan de kennismaking met deze *beide* aspecten van 'wonen in het andere', zoals die in fysica en in fysici belichaamd zijn.

Tenslotte noem ik de vorm die het 'wonen in het andere' aanneemt op het niveau van de subcultuur en de mensen bij wie wij ons thuis voelen. Een treffende uitdrukking die men sinds enige jaren kan horen is '*ons soort mensen*' (osm). De groep van mensen, en hun gewoonten, waarden en normen, bij wie wij ons thuis en veilig voelen, dat zijn de 'fatsoenlijke' mensen die wij als 'weldenkend' en 'wellevend' beschouwen. Natuurlijk zijn er ook subculturen waarin de osm-uitdrukking taboe is, maar juist aan dat taboe wordt dan herkend wie wel of niet '...' is. In het licht van de cruciale betekenis van 'wonen in het andere' is het ook maar de vraag of het osm-gevoel, en de osm-praktijk, wel zo fout zijn. Er is niemand die in een isolement schepper van cultuur kan zijn. Dat lukt alleen in een omgeving van min of meer 'gelijkgezinden' waarin een individuele creatie herkend en op waarde geschat kan worden²⁴⁰. We hebben de geborgenheid in groeperingen van gelijkgezinden nodig om niet alleen speelbal maar ook spelers te zijn in de omvattende cultuur en samenleving waar wij als osm deel van uitmaken.

Het essentiële gemeenschappelijke kenmerk van al deze vormen van 'wonen in het andere' is, dat zij mij in staat stellen om een gezichtspunt in te nemen, op alles wat mij omringt, waarbij ik zelf in het centrum sta. '*Ik woon in het andere*' impliceert dat ik mij nestel in het centrum van verschillende niveaus van wonen, in de steeds wijdere kringen van mensen en omgevingen die ik mij vertrouwd kan maken. Inclusief de muren en hekken die nodig zijn om binnen en buiten van elkaar af te grenzen, en die ik nodig heb om *zelf* te kunnen zijn. Het transcendente, overweldigende, (nog) niet toegeëigende andere houd ik mij zodoende zoveel mogelijk 'van het lijf'.

In contrast met zijn schildering van subjectwording (vorming) als 'wonen in het andere', typeert Levinas de andere dimensie van subjectwording als een proces waarbij het 'ik' juist afstand doet van zijn centrumpositie. Het belangrijkste van die centrumpositie is het kenmerk, dat in de steeds wijdere kringen van het wonen alle belangen en betekenissen die er maar zijn uiteindelijk betrokken zijn op het 'ik' (o.a. via het 'wij' van osm). Alles draait uiteindelijk om het 'ik', omdat het 'ik' zichzelf als hoogste waarde stelt. Het 'ik' is ook voor zichzelf het middelpunt van het eigen bestaan. Levinas formuleert dit als: het 'ik' heeft in zichzelf het middelpunt waaromheen zijn bestaan graviteert. Maar, hij voegt er dan direct aan toe, dat dit 'ik' in zijn singulariteit bevestigd wordt door zich juist "*van die gravitatie te ontdoen*" (1968, p. 222; 1987a, p. 289).

²⁴⁰ Zoals beschreven in hoofdstuk 6 van Csikszentmihalyi's *Creativiteit* (1998, pp. 139-159).

Dit 'zich ontdoen van die gravitatie' benoemt Levinas als 'goedheid', maar ook als 'gastvrijheid'. En, hij laat ook duidelijk merken dat voor hem deze tweede dimensie van subjectwording de belangrijkste is. In het voorwoord van *De totaliteit en het Oneindige* schrijft hij: "*Dit boek zal de subjectiviteit naar voren brengen als het ontvangen van een Ander, als gastvrijheid*" (1987a, p. 21). 'Gastvrijheid' staat hier voor het gehoor geven aan het appèl van de dakloze vreemdeling die op de deur van mijn woning klopt, en die in mij het besef, de 'metafysische onrust', oproept dat er iets niet goed is aan mijn zelfgenoegzame wonen waarin alles op mij (en op osm) gericht is (de Boer, 1976b, pp. 14-15).

Dat er 'iets niet goed is aan mijn zelfgenoegzaamheid' wil echter beslist niet zeggen dat mijn zelfgenoegzame wonen in het andere *helemaal* niet goed is. Het 'egoïstische' wonen is zelfs een onmisbare voorwaarde voor 'gastvrijheid'. Wie zelf geen 'woongenot' heeft kan ook geen gastvrijheid bieden²⁴¹. Aan het 'egoïsme' van het woongenot ontbreekt alleen iets essentieels, en dat ontbrekende is precies de 'goedheid', ofwel de 'generositeit', van de gastvrijheid. Zo gezien hangen de twee dimensies van subjectwording nauw met elkaar samen.

Het lijkt mij goed om na de bovenstaande beschrijving van 'wonen in het andere' nog eens terug te komen op het verschil in betekenis van 'singulariteit', in de beide dimensies van subjectwording. Het thema van 'bijzonderheid', of 'singulariteit' kwam eerder aan de orde op de pagina's 524 e.v. en 535 e.v.. Als uitgangspunt kan ik nu de term 'uitverkiezing' nemen. Einstein kon zich bijvoorbeeld als bijzonder, in de zin van 'uitverkoren', beschouwen omdat in zijn persoon zich de doorbraak voltrok van de nieuwe inzichten die hij in 1905 kon formuleren. Omdat hij zichzelf hierin ervoer als 'voertuig' van een mysterieus proces dat groter was dan hijzelf, was hij er eerder dankbaar voor dan trots op dat hij het voorrecht had, uitverkoren was, om dat unieke voertuig te zijn. Daarmee getuigde hij van de 'dubbelheid' (zie pagina 540) van de unieke toe-eigening van de natuur door een unieke fysicus op een uniek moment, die één van de vormen is van het 'egoïstische' wonen in het andere.

Levinas geeft er de voorkeur aan om niet het bovenstaande, maar het beantwoorden aan het appèl van de Ander, die van buitenaf aan de deur van mijn woning klopt, als singulariserende 'uitverkiezing' te karakteriseren. Wanneer ik mij dat concreet probeer voor te stellen, dan kan ik denken aan een situatie die ik als leraar of schoolleider meemaak, wanneer een leerling om verschillende redenen niet in het gevestigde systeem van mijn school past, maar door zijn kwetsbare aanwezigheid de rechtmatigheid van dat systeem betwist en moreel een plaats opeist. Wanneer ik mij door die ervaring verant-

²⁴¹ Deze 'voorwaardelijkheid' heb ik niet letterlijk zo bij Levinas gevonden. Er is wel een passage waarin hij duidelijk stelt: "Egoïsme, genieting en zintuiglijkheid en heel de dimensie van de interioriteit (...) zijn noodzakelijk voor de idee van het Oneindige" (1987a, p. 171). Naar mijn interpretatie is dit equivalent aan de stelling, dat het 'wonen in het andere' een noodzakelijke voorwaarde is voor 'gastvrijheid'.

woordelijk laat maken, en daar op eigen wijze vorm aan geef, dan schrijft Levinas: "*Ik' zeggen (...) betekent een bevoorrechte plaats bezetten ten aanzien van de verantwoordelijkheden, waarvoor niemand in mijn plaats kan treden en waarvan niemand mij kan ontslaan. Zich niet kunnen onttrekken – dat is precies het ik*" (1987a, pp. 290-291). Even verder, op dezelfde pagina, typeert hij dit bezetten van een bevoorrechte plaats als 'uitverkiezing'.

Hiermee is opnieuw geïllustreerd hoe 'singulariteit' en 'uitverkiezing' een nieuwe en andere betekenis krijgen bij de subjectwording die zich voltrekt in de dimensie van de ethische onderbreking.

Het bovenstaande voorbeeld geeft wel te denken. Een leidinggevende of een leerkracht kan een dergelijk appèl (van een leerling die moreel een plaats opeist) wel ervaren, maar daarmee is nog niet duidelijk hoe er gehandeld kan worden door de aangesprokene. Er zijn verschillende redenen en oorzaken die de situatie gecompliceerd kunnen maken. In de eerste plaats zijn er in het algemeen meer 'Anderen' voor wie de betrokene zich verantwoordelijk voelt. De aangesproken persoon moet dus afwegen of een actie die bedoeld is om de één te helpen, al dan niet ten koste gaat van anderen. In de tweede plaats helpen sommige spontane en goedbedoelde vormen van hulp helemaal niet, of maken zij de situatie van de hulpvrager alleen maar erger. En zo kan men nog meer redenen en oorzaken bedenken die het reageren op een 'ethische onderbreking' ingewikkeld kunnen maken.

Levinas is zich van deze complicaties goed bewust. Naar zijn opvatting vragen dergelijke situaties, waarin wij niet met één 'naaste' te maken hebben, maar ook met een 'derde', een 'vierde', enzovoorts (1986, pp. 14-15), om verstandig nadenken, 'vergelijking van de onvergelykbaren' (1991, pp. 35-36), en systemen van georganiseerde rechtvaardigheid. Zo "*is de rechtvaardigheid de eerste verplichting die voortvloeit uit de confrontatie met een veelheid van personen. En als er rechtvaardigheid moet zijn dan moet er een instelling zijn die deze met gezag kan regelen, dan moet er een staat zijn, dan moet er politiek zijn*" (1986, p. 6). Toegepast op een school als mini-samenleving: er moet een zo rechtvaardig mogelijk schoolbeleid zijn, door middel waarvan allerlei zaken 'met gezag geregeld zijn'. Over dergelijke systemen van georganiseerde rechtvaardigheid zegt Levinas dat zij '*grenzen aan de goedheid bepalen*' (1986, p. 14)²⁴². In de context van een

²⁴² Burggraave verklaart de noodzaak van begrenzing van goedheid uit een essentieel kenmerk van de ontmoeting met het 'gelaat van de Ander'. De toewijding die deze ontmoeting in principe oproept is onbegrensd, en deze toewijding kan daardoor onbedoeld ook leiden tot uitsluiting, onrecht en zelfs geweld. "*Dit is de tragiek van de oorspronkelijke verantwoordelijkheid van de een-voor-de-ander: als ik mij toekeer naar de ene wend ik mij onvermijdelijk af van de anderen. In het 'één-voor-de-ander' zijn er altijd afwezigen en uitgesloten. Ondanks zijn ethische excellentie leidt dit tot het eerste, onvermijdelijke geweld en onrecht van het exclusieve face-à-face, hoe schokkend dit ook moge klinken*" (2015a, pp. 127-129).

school kan dat bijvoorbeeld betekenen dat er een grens is aan de tijd die aan een hulpvragende leerling besteed kan worden, en dat de helper de hulp zoveel mogelijk vorm geeft binnen de spelregels die daar in de school al voor zijn. Aan de andere kant voegt Levinas daar direct aan toe "*kan de goedheid de gestrengheid van de rechtvaardigheid verzachten*" (ibidem). Het gevestigde systeem van georganiseerde rechtvaardigheid is niet de laatste waarheid en niet de laatste grens. Uit goedheid kan een uitzondering gemaakt worden, of kan ingezien worden dat de regels bijgesteld moeten worden²⁴³.

Ook op het collectieve niveau van een sociale organisatie zijn de twee dimensies van subjectwording (vorming) herkenbaar. Wanneer de rechtvaardigheid 'wettelijk' is vastgelegd, en er (naast de nuttige en noodzakelijke werkzaamheden) vrije ruimte wordt uitgespaard om te genieten en te spelen, dan kunnen mensen in een mini- of in een grote samenleving gezamenlijk toekomen aan het 'goede leven'²⁴⁴. Een dergelijk gemeenschap kan zich echter opsluiten in de gesloten cirkel van haar zelfgenoegzaamheid, en zich zodoende van een gastvrije woning ontwikkelen tot een gesloten fort. Afgezien van de externe interacties die fortificatie kunnen versterken, speelt ook het interne genieten en spelen daarbij een rol. Wanneer mensen van en met elkaar genieten en spelen, in vriendschap, in liefde, of in creatieve samenwerking, dan is daar al snel een neiging tot afsluiting of exclusiviteit mee verbonden. Levinas beschrijft dit het meest pregnant in verband met erotiek. Daar impliceert het samen genieten en spelen 'van nature' een intimiteit die de 'derde' buiten sluit (1968, p. 242). Het lijkt mij dat deze beschouwingen van Levinas aansluiten bij Huizinga's visie op zingend spelen, waarvan hij een hoofdkenmerk als volgt beschrijft: "Evenwel het gevoel samen in uitzondering te verkeren, samen een gewichtig ding te deelen, samen zich van de anderen af te scheiden en zich aan de algemeene normen te onttrekken, strekt zijn betoovering verder uit dan den duur van het spel. *De club hoort bij het spel als de hoed bij het hoofd*" (1952, pp. 12-13).

In de geest van Levinas' benadering is het van belang om deze vormen van collectief-egoïstisch genieten en spelen niet af te keuren, maar op waarde te schatten, als onmisbare voorwaarde voor subjectwording door 'ethische onderbreking', op het collectieve niveau van de gemeenschap. Ook in dit verband zijn het echter 'enkelingen' bij wie het besef, de 'metafysische onrust' (pagina 542), ontwaakt dat er iets niet goed is aan de zelfgenoegzame afsluiting, en aan het wij-zij denken, van de gemeenschap die op zelfhandhaving gericht is. Deze enkelingen kunnen zich geroepen en verantwoordelijk voe-

²⁴³ Burggraave onderscheidt de 'overschrijding van het educatief systeem' nog nader in overschrijding 'door een beter systeem', 'door de rechten van de kwetsbare ander' en door 'kleine pedagogische goedheid' (2015a, pp. 129-133).

²⁴⁴ Zoals Aristoteles al beschreef. Zie de vertaling door Paul van Tongeren van een beroemde tekst uit de *Politica*: "gemeenschappen (...) die, ontstaan om te overleven, dan bestaan omwille van het goede leven" (2013, pp. 33-34).

len om profetisch²⁴⁵ te spreken. Zij ervaren de tegenwoordigheid van het gelaat van de 'derde', die buiten de gemeenschap wordt gesloten, of die intern tussen wal en schip raakt. In dit gelaat ervaren zij "een gebod om te gebieden". Zij gebieden niet uit eigenbelang, maar in het belang van derden²⁴⁶. Vanuit hun verantwoordelijkheid roepen zij anderen op om verantwoordelijk te zijn. Zodoende bevestigen zij hun 'medeburgers' als waardig tot verantwoordelijkheid (Keij, 2006, pp. 261-262; Levinas, 1968, p. 188).

Het lijkt mij dat dit profetisch spreken ook van toepassing kan zijn op opvoeders. Wanneer een opvoeder bijvoorbeeld bij jongeren of leerlingen krasse uitingen van uitsluiting of wij-zij denken opmerkt, en die opvoeder zich oprecht geroepen voelt om op te komen voor de rechten van hen die hiermee onrecht wordt aangedaan, dan kan ik mij voorstellen dat die opvoeder zijn opvoedelingen maant tot verantwoordelijkheid²⁴⁷.

De verhoudingen tussen deze twee dimensies van subjectwording blijven bij Levinas overigens spannend en niet helemaal begrijpelijk. Aan de ene kant zijn er passages waarin hij stelt dat de dimensie van genieten en wonen een noodzakelijke voorwaarde is voor 'gastvrijheid' en de confrontatie met de Ander (zie voetnoot 241); maar daarnaast zijn er ook vrij veel passages waarin hij stelt dat de ontmoeting met de Ander de fundamentele voorwaarde is waardoor de 'ontologische' werkelijkheden van genieten, wonen en werken pas mogelijk worden²⁴⁸. Het lijkt mij dat we moeten concluderen dat volgens Levinas deze twee dimensies van vorming *elkaar* vooronderstellen.

Maar, dit vooronderstellen betekent niet dat de twee dimensies tot elkaar te herleiden zijn. In tegendeel, de twee dimensies²⁴⁹ blijven onderling onherleidbaar. "*Juist zoals de interioriteit van de genieting zich niet laat afleiden uit de transcendente relatie [met de Ander], laat deze laatste zich niet (...) afleiden uit het gescheiden zijnde [van de genieting]*" (1987a, p. 122).

Tenslotte moet herhaald worden dat deze beide dimensies volgens Levinas niet even belangrijk zijn. De dimensie van de ethische onderbreking wordt niet alleen als 'hoger' (zie pagina 530 e.v.), maar ook als fundamenteeler aangemerkt dan de andere dimensie.

²⁴⁵ In deze context is een 'profeet' niet 'iemand die toekomst voorspelt' (volgens de gangbare betekenis van 'profeteren'), maar in de eerste plaats 'iemand die onrecht aan de kaak stelt'.

²⁴⁶ Levinas benadrukt dat op het niveau van ethische onderbreking geen enkel mens van de mensheid, en van menselijkheid, is uitgesloten. Op de ervaring van het gelaat van de derde is de inclusiviteit van de 'menselijke broederschap' gebaseerd (1968, pp. 188-189).

²⁴⁷ Burggraeve beschrijft dit aspect van ondersteuning als 'verantwoordelijkheid voor de verantwoordelijkheid van minderjarigen en jongeren voor anderen' (2015a, pp. 124-126).

²⁴⁸ Zie bijvoorbeeld de uitvoerige voetnoot 2 die Theo de Boer als vertaler toevoegt aan één van die passages (1987a, p. 121). De Boer noemt daar nog zeven andere passages waar de 'metafysica' van de ontmoeting met de Ander aangemerkt wordt als noodzakelijke vooronderstelling van de 'ontologische' relaties van de huishouding (de eco-nomie) van het wonen in het andere.

²⁴⁹ Vanwege deze onherleidbaarheid koos ik voor de metaforische aanduiding als 'dimensies'.

"Vóór de onthulling van het zijn in het algemeen, als grondslag van de kennis en als zin van het zijn, bestaat de relatie met het zijnde dat zich uitdrukt [als Gelaat]; vóór het niveau van de ontologie bestaat het ethische niveau" (1987a, p. 233). Theo de Boer concludeert daarom: "het Gelaat raakt een diepere grond van mijn existentie dan het autonome bewustzijn dat zich zelfbewust in de wereld installeert" (1976b, p. 14). En, om dezelfde reden typeert De Boer, op grond van een uitvoerig betoog, de filosofie van Levinas als 'ethische transcendentiaal filosofie' (1976a).

Hoe het mogelijk is dat twee dimensies elkaar vooronderstellen, en dat de ene dimensie toch iets meer, dieper en hoger, voorondersteld is dan de andere houdt iets onbegrijpelijks. Ik krijg de indruk dat dit Levinas niet al te veel zorgen baart. Hij heeft de twee dimensies naar zijn beste vermogen zorgvuldig beschreven, en als er dan iets onbegrijpelijks blijft, dan is dat nu eenmaal zo. Met Bert Keizer kunnen we daarbij bedenken dat een menselijke poging om het menselijke te doorgronden niet ontkomt aan het karakter van 'verbeterde', en waarschijnlijk nog verder te verbeteren, 'onwetendheid' (2012, pp. 139-145).

2.d Evaluatie

De vraag, of er een mogelijkheid is om bij 'vorming' tussen verschillende dimensies te onderscheiden (pagina 520), heeft hiermee een eerste antwoord verkregen.

Wanneer de beide dimensies van vorming, het leren genieten en spelen²⁵⁰, én het leren van ethische onderbreking, algemeen relevant zijn, dan loont het de moeite om deze twee dimensies naar fysische vorming te vertalen. Die vertaling zal dan inhouden, dat het voor de vorming van leerlingen in de fysica zowel van belang is om het moreel onbezorgde plezier in fysica als doel-in-zichzelf te leren kennen, als de ethische onderbreking van dat plezier door kritische bezinning op het gebruik van de macht die deze kennis oplevert²⁵¹. Zo gezien zijn beide dimensies van fysische vorming onmisbaar om de inspiratie en zingeving die fysica te bieden heeft duurzaam te doen zijn. Daarom lijkt het mij dat Levinas met zijn denken over de twee dimensies van subjectwording, c.q. vorming, een belangrijke en verhelderende bijdrage heeft gegeven.

De verhelderende onderscheiding van Levinas tussen twee dimensies van subjectwording, c.q. vorming, heeft consequenties voor mijn concept van '*pedagogisch leiderschap*'.

²⁵⁰ Gezien de ontdekking achteraf, die in voetnoot 212 (pagina 525) beschreven werd, twijfel ik er achteraf aan of deze dimensie van vorming wel als 'leren genieten en spelen' gekarakteriseerd moet worden. Zou misschien 'leren wonen in het andere' beter zijn? Vooralsnog laat ik 'genieten en spelen' nog maar even staan.

²⁵¹ Het hiervoor vertelde verhaal van de fysici, die met een petitie aan president Truman het directe gebruik van de atoombom tegen burgers probeerden te voorkomen (noot 220 op pagina 529), is één van de verhalen die hierbij als illustratie kunnen dienen.

Dit concept van leiderschap omschreef ik als het nemen van eenzijdige (asymmetrische) verantwoordelijkheid van de één voor de vorming ('subjectwording') van anderen (deel I, hoofdstuk 2, § 3.c / *Leiderschap*). Dit concept achtte ik van toepassing op de relaties leraar-leerling, schoolleider-leraar, en opleider-schoolleider.

Wanneer ik nu de onderscheiding van Levinas volg, dan kunnen ook twee dimensies onderscheiden worden in de door pedagogische leiders eenzijdig genomen verantwoordelijkheid (in navolging van Burggraave (2015a, pp. 120-126)):

1. Verantwoordelijkheid voor ondersteuning van het 'leren genieten en spelen'²⁵².
2. Verantwoordelijkheid voor ondersteuning van het 'leren van ethische onderbreking'²⁵³.

Een derde dimensie?

Een dimensie van vorming die bij Levinas (voor zover ik kon vinden) geen aandacht krijgt betreft de zingevende ervaringen die het *ontvangen* van ondersteuning kan opleveren. In deel I (hoofdstuk 2, § 3.a) noemde ik een voorbeeld daarvan uit eigen ervaring. Mijn leraar wiskunde ondersteunde het ontdekken van de schoonheid en elegantie van wiskunde bij mij zó goed, dat ik de waarde daarvan ging inzien en ervoor koos om wiskunde te gaan studeren. Maar, het gaat mij nu niet om de inspirerende ervaringen die ik, als gevolg van die ondersteuning, later aan wiskunde te danken had, maar om de zingevende ervaring, dat een leraar het belangrijk vond, om *mij* met deze inspiratiebron kennis te laten maken. In termen van Levinas: het gaat mij nu om de inspirerende ervaring, dat een ander mens zich ervoor inzet om *mij te doen leven* (pagina's 533, 536) in een betekenis die voor mijn vorming van grote waarde bleek. De *zingevende dankbaarheid*, die ik voor deze ondersteuning ervoer was een belangrijk motief voor de keuze om zelf ook de leraarsrol te vervullen, en er mijn best voor te doen om leerlingen die daar gevoelig voor waren op mijn beurt met het vormingspotentieel van wiskunde kennis te laten maken.

Omdat deze ervaring voor mijzelf belangrijk was heb ik bovendien, in de jaren dat ik als lerarenopleider fungeerde, van tijd tot tijd aan studenten gevraagd waarom zij voor het leraarsberoep hadden gekozen. Daarbij bleek dat een aanzienlijk aantal van hen, net als ik, in een cruciale fase van hun ontwikkeling een essentiële vorm van ondersteuning door een leraar hadden ervaren. Die ervaring had hen op het idee gebracht dat het zinvol en inspirerend zou zijn om, uit dankbaarheid voor de ontvangen ondersteuning, op hun beurt een dergelijke ondersteuning weer 'door te geven' aan een volgende generatie.

Deze zingevende dankbaarheid zou in het kader van mijn studie een sleutel kunnen bieden voor de beantwoording van het '*schakelprobleem*' (deel I, hoofdstuk 2, § 4.a).

²⁵² Burggraave: verantwoordelijkheid voor het 'zijn' en de ontplooiing van kinderen en jongeren.

²⁵³ Burggraave: verantwoordelijkheid voor de verantwoordelijkheid van minderjarigen voor anderen.

Immers, de motivatie van schoolleiders, om op hun eigen school 'hun' leraren in hun vorming te ondersteunen, zou gevoed kunnen worden door zingevende dankbaarheid voor ondersteuning die zij zelf in de loop van hun ontwikkeling van anderen gekregen hebben. En bovendien zouden hun opleiders, die om diezelfde reden het geven van ondersteuning aan schoolleiders belangrijk vinden, opnieuw voor de schoolleiders een inspirerend voorbeeld kunnen betekenen.

En zo zou ook de motivatie van leraren, om hun leerlingen bij hun vorming te ondersteunen, gevoed kunnen worden door zingevende dankbaarheid voor ondersteuning die zij in de loop van hun ontwikkeling zelf ontvangen hebben. En ook voor hen zou die motivatie versterkt kunnen worden wanneer zij opnieuw door hun schoolleider in hun vorming ondersteund worden.

De mogelijkheid dat de schakels van deze keten door dergelijke ervaringen verbonden worden geeft meer dan voldoende aanleiding om ook aandacht aan zingevende dankbaarheid te besteden. Juist toen ik het nodig had wijdde Paul van Tongeren zijn afscheidscollege aan dit thema en publiceerde daarover een essay (2015a, 2015b). Dit essay berust op een grondige verkenning van de (vrij schaarse) literatuur over dit thema. In een volgend gedeelte zal ik dankbaar gebruik maken van deze verkenning bij het schetsen van 'zingevende dankbaarheid' als bron voor een 'derde dimensie' van vorming.

Maar, voor ik dit doe zal ik deze evaluatie afronden met een reflectie over nog een ander aspect van verdere verbetering, die de reeds aanzienlijk verbeterde onwetendheid van Levinas' filosofie, wat mij betreft, in deze tijd behoeft.

Het mensbeeld

Aan het einde van mijn bespreking van het werk van Sizoo noemde ik mijn behoefte om vorm te geven aan een 'verbeterde' levensbeschouwing die recht doet aan nieuwe kennis en zingevende ervaringen (pagina 447 e.v.). Ook in dit opzicht heb ik veel waardering voor het werk van auteurs zoals Polanyi, Buber, Marcel, Huizinga en Levinas. Wat mij uit de combinatie van Marcel en Levinas vooral aanspreekt is, dat er twee soorten van transcendentie onderscheiden kunnen worden (té groot, en té anders), die beiden voedsel geven aan levensbeschouwelijke tradities. Daarom denk ik dat de zingevende ervaringen van de mysterieuze processen die 'ware kunst' en 'ware wetenschap' voortbrengen essentieel zijn (pagina 523), en zeker het respect en het engagement verdienen dat fysici zoals Einstein lieten zien (pagina 528 e.v.). Daarnaast heb ik van Marcel en Levinas geleerd dat 'het mysterieuze' dubbelzinnig is. Zowel genereus levengevend als onbarmhartig vernietigend. Daarom spreekt de visie van Levinas op een 'atheïstische godsdienst' die ethiek als vertrekpunt heeft, in plaats van een ethiek die godsdienst als vertrekpunt heeft, mij sterk aan.

Op grond van het bovenstaande zie ik de inzichten die in deze paragraaf beschreven zijn als inderdaad 'verbeterde onwetendheid'. Maar, daarnaast heeft mijn hernieuwde ken-

nismaking met de filosofie van Levinas, mij ook tot de overtuiging gebracht dat zijn *mensbeeld* in deze tijd verbetering behoeft op grond van nieuwe kennis en ervaringen, die voor het grootste deel dateren uit de jaren nadat Levinas zijn filosofie formuleerde. Als afronding van deze evaluatie zal ik nu de belangrijkste overwegingen noemen, die maken dat –wat mij betreft– Levinas' visie op menswording, en dus ook op vorming verbetering behoeft.

De eerste overweging, die in het voorafgaande al enkele keren genoemd is²⁵⁴, betreft de visie op het verschil tussen mensen, dieren en andere levende wezens. Levinas blijkt een mensbeeld te vertegenwoordigen dat lang in brede kringen gangbaar was, maar dat mij in het licht van nieuwere biologische inzichten niet langer houdbaar lijkt.

In de eerste plaats betreft dit mensbeeld het vermogen om te genieten en te spelen, of –in klassiek Griekse termen– het vermogen om het niveau van overlevingsnoodzaken te boven te komen en toe te komen aan het 'goede leven'. Levinas gaat er expliciet van uit dat dit vermogen uitsluitend aan mensen is voorbehouden (1987a, p. 154) terwijl biologisch onderzoek, sinds de 50er jaren van de vorige eeuw, aan vele verschillende voorbeelden heeft aangetoond dat ook dieren spelen, en dat ook dieren vondsten die spelend ontdekt zijn van generatie op generatie doorgeven als een vorm van 'animal culture'.

In de tweede plaats betreft dit mensbeeld het vermogen om zich zodanig te laten onderbreken door 'het gelaat' van de Ander, dat de zorg om het eigen leven naar de periferie verdwijnt en de verantwoordelijkheid voor het leven van de ander in het middelpunt komt te staan. Ook op dit vlak hebben biologen in de laatste decennia veel overtuigende voorbeelden gevonden van empathie, compassie, 'animal altruïsme', inclusief voorbeelden die berusten op soort-overstijgend geraakt worden door pijn, lijden, of kwetsbaarheid van een ander levend wezen. Zie met name de publicaties van De Waal, die zich er al jaren op toelegt om de biologische grondslagen van het menselijke morele besef bloot te leggen²⁵⁵. Dit 'oude mensbeeld' heeft bij Levinas als gevolg dat hij ethisch besef

²⁵⁴ Zie mijn overzicht van recente ontwikkelingen in de biologie in deel I (hoofdstuk 3, § 3.b), en verder onder andere het voorbeeld van de chimpansee die niet alleen helpt maar daarover ook slim nadenkt (pagina 488), en tenslotte noot 213 op pagina 526.

²⁵⁵ De Waal geeft overigens ook duidelijk blijk van de intentie om menselijke moraal niet te *reduceren* tot deze biologische grondslagen. Zie bijvoorbeeld: "... want ook al geloof ik dat de moraal stevig geworteld is in emoties, de biologie heeft ons nauwelijks voorbereid op rechten en plichten op de schaal van de moderne wereld. We zijn geëvolueerd als groepsdieren, niet als wereldburgers. (...) Dit boek probeert uit te leggen hoe we gekomen zijn waar we nu zijn, maar wij mensen hebben een lange geschiedenis in het optrekken van nieuwe bouwsels op oude funderingen" (2013, p. 243).

en ethisch handelen, in de zin "*dat in mijn zijn mijn eigen zijn niet langer centraal staat*"²⁵⁶, tot mensen beperkt acht²⁵⁷.

Het lijkt mij dat de hermeneutiek van Levinas, waarmee hij op scherpzinnige wijze en met wijs beleid belangrijke samenhangen opdiept uit menselijke ervaringen, waaronder met name de twee dimensies van subjectwording, op-zich een bijzonder rake en verhelderende visie op het menselijke oplevert. Levinas gaat echter te ver wanneer hij, op grond van zijn analyses van *menselijke* ervaringen, conclusies trekt over *dierlijk* innerlijk leven en dierlijke vermogens. Zijn hermeneutiek laat welbeschouwd alleen uitspraken toe over *menselijke* ervaringen, maar niet over dieren en niet over de cruciale verschillen tussen mensen, dieren en andere levende wezens. Voor uitspraken op dit laatste gebied moet men beslist afstemming zoeken met de biologen die zich er in de laatste jaren hermeneutisch-kritisch op toeleggen om het gedrag van dieren niet alleen te verklaren maar ook te 'verstaan' (zoals de Nederlandse biologen Van Hooff, De Waal, en Goldschmidt).

Wat mij betreft moet een verbeterde onwetendheid ook ruimte maken voor nog andere ethische onderbrekingen door 'het gelaat van de Ander', die buiten het bestek van Levinas' filosofie vallen. Een voorbeeld daarvan, dat veel indruk op mij heeft gemaakt, is de profetische boodschap die Wubbo Ockels vanaf zijn sterfbed nog wilde, nog *moest* doorgeven aan ieder die het maar wilde horen (Niehe, 2014)²⁵⁸. In die toespraak laat hij blijken diep en persoonlijk geraakt te zijn door 'het gelaat van de Aarde', toen hij zichzelf tijdelijk in de unieke, bevoorrechte, positie bevond om in het ruimtestation van die Aarde gescheiden te zijn. Op dat moment zag hij scherper dan ooit dat de Aarde ernstig ziek is door het toedoen van mensen. Aan zijn 'uitverkiezing' om zó de Aarde in haar kwetsbaarheid te kunnen zien ontleende hij de verantwoordelijkheid om te doen wat in zijn vermogen lag om bij te dragen aan genezing van de Aarde, en om anderen daarin mee te krijgen. Naar mijn overtuiging geldt voor deze profetische boodschap precies wat Levinas daarover schrijft: "*De waarheid kan alleen maar zijn als een subjectiviteit geroepen wordt haar te zeggen*" (1968, p. 223; 1987a, p. 290).

²⁵⁶ Deze uitdrukking moet begrepen worden tegen de achtergrond van Levinas' kritiek op Heidegger. Het 'Sein' dat deze tematiseert in *Sein und Zeit* (1927) heeft als cruciaal kenmerk: 'dat in dit Zijn de zorg om het eigen Zijn centraal staat'. Omdat Levinas wil benadrukken dat de ethische ervaring juist het doorbreken van dit Zijn betekent, acht hij de mens in staat tot 'anders dan zijn' (*autrement q'être*).

²⁵⁷ Zie bijvoorbeeld Burggraave's weergave van *A conversation with students on animal ethics* (2009, pp. 232-235).

²⁵⁸ Zie met name 'uitzending gemist' http://www.npo.nl/tros-tv-show/07-12-2014/AT_2014264 waarin gesprekken met de vrouw van Wubbo Ockels een goede omlijsting bieden van zijn toespraak. Op Youtube zijn ook weergaven van alleen de toespraak te vinden, maar die missen dan de context waarin zijn vrouw de boodschap plaatst.

Natuurlijk kan en moet er verder kritisch nagedacht en gesproken worden over de consequenties van het bovenstaande. Voor deze evaluatie laat ik het hier echter bij, en kom ik nu terug op het eerder aangekondigde thema van zingevende dankbaarheid.

2.e Zingevende dankbaarheid

De uitdrukking 'zingevende dankbaarheid' vraagt om een eerste toelichting. Volgens de terminologie van deze studie betekent deze uitdrukking dat het gaat om dankbaarheid met intrinsieke waarde. Dankbaarheid, die misschien ook nog nuttig kan zijn, maar waarbij de hoofdzaak niet die nuttigheid is, maar haar waarde in-zichzelf. Een waarde, die ons inspireert tot creatieve vormgeving²⁵⁹.

Deze uitdrukking roept daarom de vraag op, of zingevende dankbaarheid onderscheiden moet worden van andere modi van dankbaarheid, die het zingevende karakter missen.

Nuttige en zingevende dankbaarheid

Van Tongerens verkenning maakt duidelijk dat de behoefte aan het onderscheiden van twee soorten dankbaarheid al in de Gries-Romeinse oudheid opkwam. Gedurende lange tijd (tot en met Plato en Aristoteles) werd dankbaarheid gezien als een 'wederdienst' waartoe iemand verplicht is die een weldaad heeft ontvangen. Dankbaarheid wordt gezien als een vorm van 'vergingding' (retributie), maar dan van een weldaad, in plaats van een misdaad. Dankbaarheid herstelt een evenwicht. Dankbaarheid moet daarom ook, net als de vergelding van een misdaad (oog om oog ...) proportioneel zijn (2015a, pp. 20-21). Wanneer men dankbaarheid zo beschouwt, dan dient zij een doel buiten zichzelf. Een doel dat benoemd kan worden als 'vergingding', 'evenwichtsherstel', 'vereffening', 'compensatie', et cetera. Kort gezegd: het gaat dan om *nuttige* dankbaarheid. Andere uitdrukkingen, die van oudsher gangbaar zijn, luiden 'men is *verplicht* tot dankbaarheid', of 'men is dankbaarheid *verschuldigd*'.

Het is duidelijk dat deze modus van nuttige, of 'retributieve' dankbaarheid tot op de dag van vandaag in onze cultuur en samenleving nog steeds een belangrijke rol vervult. Op-zich is er ook niets verkeerd aan deze modus van dankbaarheid, maar in verband met vorming is zij minder relevant. In onderwijstermen: het cultiveren van deze dankbaarheid hoort thuis onder de noemer van *socialisatie*.

Bij Seneca vindt Van Tongeren voor het eerst een ander concept van dankbaarheid "*danken is 'vrijwillig terugbezorgen', en die vrijwilligheid maakt haar eerder 'een deel van liefde en vriendschap' dan van rechtvaardigheid (...)* zij impliceert ook het besef van dankbaarheid *'de gelukkigste gesteldheid van de geest' (...)* en dat zij er dus niet in bestaat een schuld af te lossen, maar eerder haar te cultiveren (...) het is de manier waarop de 'wijze'

²⁵⁹ Zie deel I, hoofdstuk 2, § 3.a, *Kenmerken en termen*.

zich blijft verheugen in wat hij ontvangen heeft (...) het besef ontvangen te hebben is onsterfelijk en blijvend" (2015a, p. 22).

Uit dit citaat blijkt al een essentieel verschil met de nuttige dankbaarheid: terwijl nuttige dankbaarheid een eindpunt bereikt, wanneer de verschuldigde dankbaarheid is betoond, gaat het bij de door Seneca bedoelde dankbaarheid om een 'gesteldheid van de geest' die de wijze wil cultiveren en permanent in stand wil houden.

Waar wij dankbaar voor kunnen zijn

Om op het spoor te komen van die andere, niet-retributieve dankbaarheid noemt Van Tongeren een aantal voorbeelden die illustreren wat Seneca bedoeld kan hebben met de door hem bedoelde modus van dankbaarheid.

Eén van die voorbeelden biedt Leonard Cohen, die een belangrijke culturele prijs in Spanje ontvangt, en die in zijn dankwoord een verhaal vertelt over een Spaanse gitarist die hij in zijn jeugd ontmoette, en die hem zes akkoorden uit de Flamenco-traditie leerde. Die leermeester kon hij niet persoonlijk bedanken omdat deze een eind aan zijn leven maakte, maar volgens Cohen was zijn hele muzikale oeuvre op dit begin gebaseerd. De diepe dankbaarheid om deel uit te mogen maken van die muzikale traditie, als een door anderen geschreven tekst waar ook hij zijn handtekening onder mocht zetten, maakt dat Cohen aan het eind van zijn dankwoord verklaart dat zijn hele oeuvre aan Spanje en de Spanjaarden toebehoort. "*It's really yours*" (2015a, p. 55; VPRO, 2015).

Het voorbeeld van Cohen kwam voor in de uitzending van VPRO's Zomergasten, waarin de psychiater Damiaan Denys te gast was. Denys lichtte toe dat hij Cohens verhaal gekozen had omdat hij daarin een fundamentele dankbaarheid herkent, die hij zelf ook ervaart. De dankbaarheid, om te mogen leven, om dit leven te mogen leven, om deel uit te mogen maken van een groter geheel dat goed is. Een dankbaarheid die hem voortdurend motiveert om in zijn werk en in zijn leven het beste te geven dat hij te geven heeft (2015a, pp. 55-56; VPRO, 2015).

Een mooie formulering van deze dankbaarheid is ook te vinden in het postuum uitgegeven boekje van Oliver Sacks, dat hij schreef toen hij wist dat zijn einde naderde. Daarin schrijft hij: "*mijn overheersende gevoel is er een van dankbaarheid. Ik heb van mensen gehouden en zij hebben van mij gehouden, ik heb veel gekregen en ik heb iets teruggegeven, ik heb gelezen, gereisd, nagedacht en geschreven. Ik heb in contact gestaan met de wereld en de bijzondere uitwisseling ervaren tussen een schrijver en zijn lezers. Maar in de eerste plaats ben ik op deze prachtige planeet een bewust denkend wezen geweest, een denkend dier, en dat alleen al was een enorm voorrecht en avontuur"* (2015).

Tenslotte noem ik weer een voorbeeld dat Van Tongeren aanhaalt. Een belangrijk voorbeeld, omdat het illustreert dat negatieve ervaringen kunnen leiden tot inspirerende ervaringen²⁶⁰, waar mensen -zoals uit het dagboek van Etty Hillesum blijkt- dankbaar voor kunnen zijn. Het lijkt onmogelijk om zingeving en dankbaarheid te ontleenen

²⁶⁰ Zie deel I, hoofdstuk 2, § 3.a, *Kenmerken en termen* (pagina 19-20).

aan het verlies van een vriend en een dreigende deportatie, maar toch schrijft Hillesum in haar dagboek: "*ik ben zo gelukkig en zo dankbaar en ik vind het leven zo mooi en zinrijk. Jawel, mooi en zinrijk, terwijl ik hier sta aan het bed van mijn dode vriend, die veel te jong gestorven is, en terwijl ik ieder ogenblik gedeporteerd kan worden naar een onbekend gebied*" (2015a, p. 97).

Kenmerken

Naast het kenmerk dat ik hierboven noemde, dat zingevende dankbaarheid in principe een permanente 'gesteldheid van de geest' is, benadrukt Van Tongeren dat zingevende dankbaarheid gekenmerkt wordt door *asymmetrie*. Hiermee is bedoeld dat deze dankbaarheid zich niet (alleen) richt op de weldoener (als die aanwijsbaar is), maar op een groter geheel waar de dankbare en de weldoener samen deel van uitmaken. Van Tongeren haalt hierbij Jacques De Visscher aan, die deze asymmetrie aan het onderwijs toelicht: "*dat de dank van een leerling jegens zijn leermeester niet zozeer bestaat in 'teruggeven' als wel in 'doorgeven': zelf leraar worden van volgende leerlingen*" (2015a, p. 56). Vervolgens formuleert Van Tongeren deze asymmetrie in meer algemene termen: "*Wie dankbaarheid ervaart, wil niet zozeer iets 'terugdoen', laat staan 'terug-geven', maar wil eerder 'ook' goed doen, zoals hij goed ervaren heeft. Peperzak spreekt van 'willen binnentreden in de beweging van goedheid'*" (2015a, p. 57).

Het asymmetrie-kenmerk maakt duidelijk waarom het ondersteunen van deze vorm van dankbaarheid tot het gebied behoort van het ondersteunen van *vorming*, en niet van *socialisatie* (zoals het geval was bij 'symmetrische dankbaarheid')²⁶¹. Deze asymmetrische dankbaarheid doet een veel duidelijker beroep op vormgevend vermogen. De dankbare kan immers in dit geval niet volstaan met een spiegelbeeldige, proportionele, of imiteerbare respons op een weldaad, maar moet in nieuwe situaties eigen vormen vinden om op authentieke wijze ook 'goed te doen' en zijn unieke plaats in een 'beweging van goedheid' in te nemen. Indien authenticiteit al niet imiteerbaar is²⁶², hoeveel te meer is authentieke generositeit niet imiteerbaar.

Grondslag

Van Tongeren fundeert zingevende dankbaarheid op het 'verlangen-naar-zelfbezit-in besef-van-de-grenzen-daarvan' (2015a, pp. 74-78). Wanneer ik dit verlangen nu vertaal in de termen van deze studie dan luidt die vertaling: *het verlangen om een oorspronkelijke vormgever, ofwel een oorspronkelijk subject te zijn*.

²⁶¹ Gesocialiseerde dankbaarheid en zingevende dankbaarheid kunnen in elkaars verlengde liggen. Het lijkt mij dat het leren 'om netjes te bedanken', en daarvoor beloond te worden, een eerste kennismaking met dankbaarheid kan betekenen, die vervolgens kan leiden tot het leren ervaren van dankbaarheid die niet van beloning afhankelijk is.

²⁶² Zie deel I, hoofdstuk 2, § 3.c, Het pedagogisch leiderschap van leraren (voetnoten 41 en 42).

Met dit verlangen is een cruciaal leerproces verbonden. Het proces om te leren onderscheiden tussen interacties die het verlies van dit oorspronkelijke vormgeverschap bewerkstelligen, en interacties die bijdragen aan ontwikkeling en bloei van dit vormgeverschap. Toegepast op interactie met 'weldoeners':

- Ik kan in een weldaad jegens mij ervaren (terecht of ten onrechte), dat de ander mij van zich afhankelijk wil maken. Vanuit mijn verlangen om mij niet in dat net te laten vangen kan het dan verstandig zijn, om zo snel mogelijk de sociaal verplichte dank te betuigen en zodoende mijn onafhankelijkheid te herstellen.
- Een weldaad kan ik ook ervaren (terecht of ten onrechte) als een ondersteuning 'die mij doet leven'. Vanuit mijn verlangen kan ik in dat geval zowel de weldaad als mijn afhankelijkheid, als zingevend ervaren. Mijn dank is dan 'oneindig' omdat ik dit geschenk in mijn vormgeverschap kan integreren en voor de rest van mijn leven kan meenemen.

Het leren onderscheiden tussen interacties die leiden tot 'negatieve afhankelijkheid', en interacties die leiden tot 'positieve afhankelijkheid', strekt zich ook uit tot vele gebieden die niet (direct) met interpersoonlijke relaties en interacties te maken hebben. Mensen kunnen bijvoorbeeld creatief genieten van voedsel en hun afhankelijkheid daarvan, maar zij kunnen ook verslaafd raken aan eten of drugs en zodoende hun vormgeverschap ondermijnen.

Zingevende dankbaarheid berust op het vermogen om al die zaken die 'mij doen leven', maar die ik niet zelf uitgevonden of aan mijzelf te danken heb, te ervaren als een geschenk. Deze dankbaarheid berust op het vermogen om mij te verheugen over wat ontvangen is. En, zoals Van Tongeren terecht constateert, dat is een vermogen dat niet vanzelf spreekt maar ontwikkeld moet worden (2015a, p. 74). Ondersteuning bij de ontwikkeling van dit vermogen is een opvoedingstaak (2015a, p. 77). Deze taak ligt op het gebied van ondersteuning van *vorming*, omdat de vreugde over de goedheid die aan mijn vormgeverschap ten goede komt, van nature overgaat in het verlangen om als dankbare vormgever 'binnen te treden in een beweging van goedheid' (Peperzak).

De rol van godsdienst

Godsdienst speelt in dit verband een ambivalente rol. Enerzijds hebben godsdiensten, inclusief het christendom, het 'klassieke' retributieve schema omarmd en versterkt. Alle zaken waarvoor een mens dankbaar kan zijn (zowel uit de tussenmenselijke sfeer als daarbuiten) worden simpelweg aan God (of goden) toegeschreven. Al die weldaden onderstrepen de afhankelijkheid van de mens, en *verplichten* hem tot welomschreven dankbetuigingen. Vanuit de hier geschetste visie is het nadeel van deze benadering dat dankbaarheid beperkt blijft tot nuttige dankbaarheid. De 'werken der dankbaarheid' zijn dan vooral nuttig en nodig om in de gunst van God of goden te blijven. De inspiratie om zelf als actor een creatieve bijdrage te geven aan een 'beweging van goedheid' wordt niet of nauwelijks gevoed. De gelovige wordt gestimuleerd om vanuit een gecultiveerde kin-

derlijke afhankelijkheid 'alle goeds van boven te verwachten', en niet om de verantwoordelijkheid te nemen om 'eigener beweging' te maken 'dat het goed komt'²⁶³.

Anderzijds benadrukt Van Tongeren (in de dagbladversie van zijn essay) dat er niets is dat mensen kan verbieden om een naam te geven aan de gerichtheid van hun zingevende dankbaarheid, en het mysterie daarvan als 'God' te duiden (2015b). Ook deze vorm van religiositeit is 'van alle tijden'. In tegenstelling tot godsdienst die fungeert als vertrekpunt voor dankbaarheid, fungeert dankbaarheid hier als vertrekpunt voor religiositeit, (naar analogie van de omschrijving op pagina 548).

De drie dimensies

Op grond van het voorafgaande kan ik nu bezien of zingevende dankbaarheid inderdaad beschouwd kan worden als bron voor een derde 'dimensie' van vorming, ofwel subjectwording.

In de eerste plaats moet in aanmerking genomen worden dat zingevende dankbaarheid een component is van *alle* ervaringen die 'mij doen leven', ofwel die bijdragen aan mijn 'subjectwording'. Omdat deze dankbaarheid een uiting is van het vermogen om mij te verheugen over alles dat ontvangen is, kan deze dankbaarheid betrekking hebben op genieten van de zon, van muziek, of van een strandwandeling, maar ook op het ongevroegde appèl van een zieke dat mij maant tot mantelzorg, en ook op de paradoxale zingeving die het verliezen van een dierbare met zich mee kan brengen.

Deze dankbaarheid vervult een 'brugfunctie' die enerzijds bewerkstelligt dat het geschenk als geschenk wordt aangenomen, en die anderzijds inspireert en activeert om zelf een oorspronkelijke 'gever' te zijn en te worden. De subjectiviteit die tot aanzijn komt in deze dankbaarheid heeft twee kanten: er ontstaat een oorsprong waaruit zowel dankbaar *ontvangen*, als dankbaar *geven* ontspringt.

De verhouding van dankbaarheid tot de andere 'dimensies' van vorming verschilt van de verhouding *tussen* de twee eerstgenoemde 'dimensies' van vorming: de subjectwording van genieten en spelen moet *onderbroken* worden voor en door de subjectwording van ethische verantwoordelijkheid. Hoewel die twee 'dimensies' elkaar vooronderstellen, gaan zij niet zomaar samen.

In tegenstelling daarmee gaat zingevende dankbaarheid altijd samen met zingeving en vorming, vanwege de hierboven genoemde brugfunctie. Deze dankbaarheid kan zodoende ook een brug vormen tussen de twee eerste dimensies. De dankbaarheid bijvoorbeeld voor de gezondheid die ik geniet, en het verlangen om in dank daarvoor

²⁶³ In het essay *Een godsdienst van volwassenen* (1969) kritiseert Levinas deze vorm van godsdienstigheid als gecultiveerde onvolwassenheid. Daartegenover kan gesteld worden dat godsdienstige mensen en godsdienstige gemeenschappen, ook als zij met de mond 'kinderlijke afhankelijkheid belijden', indrukwekkende voorbeelden kunnen laten zien van het ontvankelijk zijn voor, en nemen van, ethische verantwoordelijkheid.

gezondheid door te geven, kan eraan bijdragen om mij open te stellen voor het appèl dat van een zieke uitgaat, en zelfs maken dat ik mij verheug over de gelegenheid om een zieke hulp te bieden.

Zo beschouwd kan men zich afvragen of zingevende dankbaarheid wel als een nieuwe dimensie beschouwd moet worden, en niet als een kenmerk van *alle* zingevende ervaringen. In de schijnwerper van zingevende dankbaarheid komt echter één modus van zingevende ervaringen aan het licht, die in het perspectief van de door Levinas beschreven dimensies onderbelicht blijft. Dat is de modus die de keerzijde is van de ethische onderbreking door het gelaat. Niet alleen het 'doen leven van de Ander' is zingevend, maar ook de ervaring dat de Ander zich inzet om 'mij te doen leven' is zingevend. Of, *kan* dat in ieder geval zijn wanneer ik dat geschenk in dankbaarheid aanvaard, en mij daardoor laat inspireren om zelf ook deel te nemen in een beweging van goedheid. Omdat de optiek van dankbaarheid ook deze laatste modus van zingeving en vorming in het licht zet, beschouw ik deze optiek, in aanvulling op de andere twee, toch maar als een 'derde dimensie'. Het begrip 'dimensie' blijft in dit verband uiteraard een metaforisch karakter houden²⁶⁴. Het blijft één van de namen voor een mysterie dat ons begripsvermogen te boven gaat.

2.f De destructieve terugslag voorkomen

Aan het einde van paragraaf 1.b stuitte ik op het vraagstuk, *dat het gebruik van fysische kennis een destructieve terugslag kan hebben op de inspiratie en zingeving, die oorspronkelijk met haar ontwikkeling verbonden waren* (pagina 520).

Dit vraagstuk gaf aanleiding om een verkenning naar de verschillende dimensies van vorming te ondernemen. Aan het einde van deze verkenning is nu het moment gekomen om te samen te vatten wat zij heeft opgeleverd.

In reactie op dit vraagstuk kan in de eerste plaats bevestigd worden dat er op-zich niets verkeerds is aan het genieten van fysische 'Entdeckerfreude', en ook niet aan het 'moreel onbekommerd' spelen met concepten, theorieën, metaforen, speculaties, onmogelijke mogelijkheden, experimenten, et cetera. Deze zingevende aspecten van fysische wetenschap geven vermoedelijk uitdrukking aan een universele dimensie van vorming, die essentieel is voor de ontwikkeling van ieder mens tot en als schepper van cultuur.

Vervolgens kan gesteld worden dat dit 'egoïstische' genieten en spelen op den duur zijn zin verliest, ook binnen de fysisch wetenschap, wanneer er niet ook een andere

²⁶⁴ Ik denk hierbij aan de vergelijking met een cartograaf die een coördinatensysteem moet ontwikkelen om het voorwerp van zijn interesse 'in kaart te brengen'. Is het een ruimtelijk voorwerp, dan heeft hij een coördinatensysteem nodig met drie coördinaatassen, ofwel drie dimensies. Twee dimensies voldoen dan niet om alles in beeld te brengen.

dimensie van vorming gaat meespelen. Om duurzaam zingevend te kunnen zijn moet de gesloten cirkel van het genieten onderbroken of doorbroken worden door een besef van verantwoordelijkheid. Dit doorbreken of onderbreken is ook zingevend, op een nieuwe manier, omdat het ook een appèl doet op creatief vormgeverschap, maar dan niet in dienst van het eigen genieten en spelen, maar in dienst van het 'doen leven' van anderen.

Dat deze twee dimensies van zingeving en vorming niet 'zomaar samengaan' (pagina 555) impliceert voor fysici dat zij met een complex spanningsveld moeten omgaan. Omdat technische toepassingen van fysische kennis in onze samenleving en cultuur een immense, bijna alles doordringende, rol spelen is deze kennis nauw verbonden met veel macht en veel geld. Wat een fysicus daarvan merkt is, dat er maatschappelijke partijen en belangengroepen zijn die met gretigheid zijn kennis geleverd willen krijgen, en daar geld en gunsten voor over hebben. Aan de andere kant heeft een fysicus tegenwoordig ook geld en invloed nodig, omdat onderzoek en experimenten die nieuwe kennis kunnen opleveren vaak om grote investeringen vragen. "Geen probleem", zou men kunnen zeggen, ware het niet dat de toepassingen waar maatschappelijke groepen belang aan hechten variëren binnen een spectrum dat loopt van gewetenloze wapenindustrie en gewetenloze commercie, tot aan toepassingen voor duurzaamheid, geneesmiddelen, of voorzieningen voor gehandicapten.

Een fysicus met passie voor zijn vak staat daarom in deze tijd in het spanningsveld tussen enerzijds de behoefte om geïnspireerd met zijn mooie vak bezig te zijn, en anderzijds de invloed van maatschappelijke belangen die van zijn kennis willen profiteren. De manieren waarop een fysicus met dit spanningsveld kan omgaan kunnen ingedeeld worden naar drie hoofdvarianten:

1. de fysicus neemt het geld en de gunsten aan van een partij die hem biedt wat hij nodig heeft, en sust zijn geweten door te stellen dat zijn kennis nu eenmaal toepassingneutraal is, en dat de manier waarop financiers de kennis gebruiken niet zijn verantwoordelijkheid is; of
2. de fysicus vergeet de oorspronkelijke passie voor zijn vak, gaat de 'bijvangst' aan geld en gunsten als 'hoofdvangst' zien, en verkoopt zich aan een partij die goed betaalt of macht en status biedt; of
3. de fysicus neemt wel de moeite om zich te verdiepen in de belangen die maatschappelijke partijen bij zijn kennis hebben, en hij probeert een positie te verwerven waarin hij niet alleen geïnspireerd wordt door het bezig zijn met zijn mooie vak, maar óók door de kwaliteit van de doelen en belangen waar zijn kennis voor gebruikt wordt.

Wanneer het lukt om deze derde optie te realiseren is de 'destructieve terugslag' voorkomen, en is een vorm van synergie tussen twee bronnen van zingeving daarvoor in de plaats gekomen. De kwestie die nu aan de orde is kan dus ook positief geformuleerd worden als: *wat bevordert het bereiken van deze synergie?*

In het voorafgaande werd duidelijk dat de filosofie van Levinas een tweeledig antwoord biedt op deze vraag:

- Van schade of van slachtoffers van het gebruik van fysieke kennis kan een appèl uitgaan dat een fysicus raakt (wanneer hij zich ervoor open stelt), en dat hem ertoe kan brengen om mede-verantwoordelijkheid voor het gebruik te nemen.
- Een 'profeet', die de destructiviteit van het misbruik van fysieke kennis benoemt en aan de kaak stelt, kan het bovengenoemde appèl versterken, en zodoende een extra beroep doen op de fysicus om verantwoordelijkheid te nemen.

De daarop volgende reflectie over dankbaarheid brengt mij op het spoor van aanvullingen op het bovenstaande antwoord:

- Dankbaarheid voor de prachtige planeet waaraan ik mijn bestaan als 'denkend dier' te danken heb (of voor de natuur die in mij haar ogen opent) kan in mij het verlangen wekken om eraan bij te dragen dat het gebruik van fysieke kennis aan haar voortbestaan als 'moeder aarde' ten goede komt.
- Dankbaarheid voor de ondersteuning die anderen mij geboden hebben om dit prachtige vak te leren, ervan te genieten en ermee te spelen, en mij in die zin 'te doen leven', kan in mij het verlangen wekken om eraan bij te dragen dat het gebruik van haar kennis in dienst staat van de humaniteit van mensen die elkaar 'doen leven'.
- Dankbaarheid voor de aanklacht, die van schade of slachtoffers uitging, die mij 'bekeerde' tot verantwoordelijkheid voor gebruik, en die zodoende mijn leven verrijkte, kan mij motiveren om die verantwoordelijkheid vol te houden.
- Dankbaarheid voor de confronterende aanklacht waarmee een 'profeet' (of opvoeder) mijn afwerende onverschilligheid doorbrak, en mij zodoende ondersteunde om verantwoordelijkheid voor gebruik te nemen, kan mij motiveren om in voorkomende gevallen zelf ook de moed te nemen om misbruik aan de kaak te stellen.
- Dankbaarheid voor opvoeders of anderen 'die mij dankbaarheid leerden' kan mij motiveren om zelf op mijn beurt te ondersteunen dat anderen dankbaarheid op waarde leren schatten, en leren om haar de plaats te geven die haar toekomt.

Het vermoeden dat zingevende dankbaarheid een belangrijke rol kan vervullen bij de vorming van fysici, met name om verantwoordelijkheid te leren nemen voor het gebruik van fysieke kennis, kan wellicht door middel van biografisch onderzoek getoetst worden. Uit de geschriften en initiatieven van Einstein blijkt bijvoorbeeld duidelijk dat hij verantwoordelijkheid voor gebruik op zich nam²⁶⁵. In hoeverre hij daarbij niet alleen gedreven werd door afschuw voor destructie door kernwapens, maar ook door zingevende dankbaarheid, zou een thema voor onderzoek kunnen zijn. In het kader van deze studie voert een dergelijk onderzoek echter te ver. In deze studie zal ik mij beperken tot

²⁶⁵ In aanvulling op de al eerder genoemde voorbeelden kan gedacht worden aan het Russell-Einstein Manifesto (1955) dat leidde tot de Pugwash conferenties die tot op de dag van vandaag gehouden worden. Zie <http://pugwash.org/history/>

suggesties aan (ped)agogische leiders om anderen kennis te laten maken met zingevende ervaringen, om vervolgens de dankbaarheid te ondersteunen die deze ervaringen kunnen oproepen, en om tenslotte kritisch te letten op de werkzaamheid van hun ondersteuning.

3 POSITIEF INSPIRERENDE ERVARINGEN (VERVOLG)

Tegen de achtergrond van de zojuist bereikte opbrengst zal ik nu de beschrijving vervolgen van de positief inspirerende ervaringen die de fysische disciplines kunnen opleveren.

3.a Creatieve geschoolde intuïtie

De zingevende voldoening die fysici ontleen aan het gebruik van hun intuïtie is vanzelfsprekend nauw verwant aan de eerder beschreven voldoening die mathematici daaraan beleven²⁶⁶. Ook voor fysici is het een bijzondere ervaring dat een vermogen, dat men enerzijds wel kan begunstigen en 'voeden', maar dat men anderzijds 'zijn eigen gang moet laten gaan', tot inzichten en oplossingen kan leiden die langs gebaande wegen niet gevonden kunnen worden. Zoals ik hiervoor beschreven heb kan deze ervaring bij fysici een extra dimensie krijgen, wanneer zij zich verwonderd afvragen hoe 'de eigen gang' die hun intuïtie gaat wellicht een andere manifestatie kan zijn van diezelfde natuur die zij, volgens de regels van hun discipline, als voorwerp van onderzoek nemen. Het zal waarschijnlijk vooral de wonderbaarlijke werking van intuïtie zijn die sommigen de ervaring bezorgt die zij beschrijven als: 'dat in ons de natuur haar ogen opent en zichzelf ziet' (pagina 514 e.v.), en anderen als: de ervaring van 'het mysterieuze' dat aan de wieg staat van 'ware kunst en ware wetenschap' (pagina 523). Omdat zij deze ervaring voor geen goud willen missen zouden fysici, net als mathematici, diep teleurgesteld zijn wanneer zou blijken dat hun discipline tot een techniek gedegradeerd zou kunnen worden waar 'geen kunst meer aan is' (pagina 522).

Waarschijnlijk kunnen er voor fysici ook fasenmodellen geformuleerd worden, naar analogie van het fasenmodel van Poincaré (hoofdstuk 7, § 8.c), die duidelijk maken dat intuïtieve fasen voor fysische kennisontwikkeling evenzeer onmisbaar zijn als bij wetenschappelijke kennisontwikkeling. Na de kort hiervoor ondernomen reflectie op dankbaarheid lijkt het mij, dat vooral het ervaren van de onmisbare rol van intuïtie aanleiding kan geven voor zingevende dankbaarheid. Intuïtie is immers bij uitstek een vermogen dat een fysicus (of mathematicus) niet zelf heeft uitgevonden, en voor het overgrote deel niet aan zichzelf te danken heeft (pagina 554). De ervaring van intuïtie als een kostbaar

²⁶⁶ Zie deel II: hoofdstuk 7, § 8, hoofdstuk 10, § 1.a / *Creatieve geschoolde intuïtie*, en hoofdstuk 10, § 1.d / *Intuïtie als inspirerend tegenwicht*.

geschenk, dat met vreugde ontvangen wordt, is een adequate reactie voor een vormgever die geleerd heeft dat zijn afhankelijkheid van dit geschenk positief is, en met dankbare vrijgevigheid beantwoord kan worden.

De redenen die Poincaré aanvoerde om erop te hameren dat intuïtie een belangrijke plaats zou moeten innemen in het wiskunde onderwijs (hoofdstuk 7, § 8.c), zijn evenzeer geldig voor het onderwijs in schei- en natuurkunde. Kennismaking met de intuïtieve fasen van deze vakken biedt bij uitstek kansen aan leerlingen, om te ontdekken of zij zich binnen deze disciplines kunnen en willen ontwikkelen als scheppers van cultuur.

3.b Het collectieve bouwwerk

De beschrijving die ik in deel II gaf van deze categorie van zingevende ervaringen²⁶⁷ geldt in zijn geheel ook voor fysica. De resultaten van deze tak van wetenschap zijn evenzeer accumuleerbaar als de resultaten van de wiskunde. Daarom hebben ook de fysische wetenschappen geleid tot een imposante 'kathedraal' die een lange en indrukwekkende geschiedenis belichaamt. Zoals ik in dat verband beschreef kan de ervaring om in deze imposante 'kathedraal' te mogen verkeren, gebruik te mogen maken van het werk van vele generaties van voorgangers, en zelf ook een steentje aan dit bouwwerk bij te mogen dragen, bij wiskundigen een diep gevoel van dankbaarheid oproepen. Wanneer fysische wetenschappers zich van de indrukwekkende geschiedenis van hun discipline bewust zijn kan deze geschiedenis ook bij hen deze dankbaarheid oproepen.

Natuurlijk mag van leerlingen niet verwacht worden dat zij direct begrip hebben voor de grootsheid van het werk dat vele generaties van fysici tot stand gebracht hebben, laat staan dat zij ook direct die dankbaarheid zullen kunnen meemaken. Maar, wanneer leraren schei- en natuurkunde het als hun taak zien om leerlingen in te leiden en in te wijden in dit aspect van onze culturele erfenis, dan is het van belang om leerlingen ook met die 'kathedraal' kennis te laten maken. Het vertellen van verhalen en voorbeelden uit de geschiedenis van fysische wetenschap kan daar een bijdrage aan geven.

3.c Samenwerking van techniek en wetenschap

In deel II noemde ik ook '*gebruik van kennis en intelligentie van anderen*' en '*samenwerking van AI en HI*' als categorieën van zingevende ervaringen die wiskunde kan opleveren (hoofdstuk 10, § 1.a). Omdat mathematica en formaliseren ook in de fysica een prominente rol spelen maken ook fysici al deze ervaringen mee. Fysici maken bovendien gebruik van meer takken van technologie dan alleen informatietechnologie. Wanneer men bijvoorbeeld een geavanceerd fysisch instrument beschouwt zoals de 'Large Hadron Collider' (LHC) van CERN, dan ziet men dat vele fysische inzichten uit voor-

²⁶⁷ Zie hoofdstuk 10, § 1.a / *Het collectieve bouwwerk*.

gaande perioden van de ontwikkeling van kennis (zoals kennis van supergeleiding), nu geïncorporeerd zijn in de uiterst geavanceerde onderdelen van deze LHC. Zodoende maken fysici van tegenwoordig niet alleen gebruik van eerder verworven kennis via computerprogramma's, maar ook via tal van andere technische instrumenten. Zoals ik eerder beschreef doen zij bij hun experimenten in feite waarnemingen aan 'hybride systemen' die deels van technische en deels van natuurlijke aard zijn (pagina 453). De ervaring om zodoende, staande op de top van een berg aan kennis en technische beheersing, waaraan door zoveel anderen is bijgedragen, zelf ook een steentje bij te dragen en van het uitzicht te genieten, kan de diepe voldoening geven die voor fysici hun vak in-zichzelf zinvol maakt.

3.d Helpen en geholpen worden; speelse vormen van strijd

Omdat het beoefenen van fysica, evenals het beoefenen van wiskunde, een collectieve culturele praktijk is behoort het ook tot *déze* praktijk dat de deelnemers daaraan met elkaar samenwerken (inclusief '*helpen en geholpen worden*', zie hoofdstuk 10, § 1.a). Daarom behoort het ook tot de inwijding in de fysische gemeenschap dat leerlingen leren om met elkaar samen te werken bij verschillende aspecten van de fysische praktijk. Daarbij is het waarheidscriterium ook in dit verband ten opzichte van wiskunde een nieuw element, en daarom werd in het voorafgaande al een tekstgedeelte gewijd aan 'dialogue' als 'samenwerken aan het kritisch verbeteren van het waarheidsgehalte van fysische kennis' (pagina 507-509).

Aan het einde van dit tekstgedeelte concludeerde ik, dat dit samen zoeken naar waarheid in twee opzichten 'winstpunten' kan opleveren:

1. dat men door samenwerking verder kan komen in het creatieve en kritische zoeken naar oplossingen, antwoorden, experimentele toetsingen, ..., dan alleen; en
2. dat men ervaart dat, en hoe, de creativiteit van de één ten goede komt aan die van de ander en omgekeerd.

Tegen de achtergrond van het voorafgaande kan ik nu concluderen dat het eerste winstpunt in het verlengde ligt van de inspirerende ervaring van fysisch inzicht (pagina 514 e.v.); en dat het tweede winstpunt (zoals ook bij wiskunde) in het verlengde ligt van de inspirerende ervaringen die een sociale praktijk in het algemeen oplevert wanneer deze creatief vormgeverschap, van individuele leden en van de gemeenschap als geheel, ondersteunt.

In verband met het thema 'wonen in het andere' heb ik het vermoeden geformuleerd dat het een belangrijk kenmerk is van een vorming-ondersteunende school (als voorbeeld van een sociale praktijk), dat leerlingen zich in die gemeenschap kunnen in-nestelen, en dat zij de school als een veilige 'thuisbasis' kunnen ervaren (pagina 540 e.v.). Het lijkt mij aannemelijk dat een dergelijke veilige school een goede omgeving biedt waarin de fysische schoolvakken kunnen bijdragen aan het fysisch-kennismatig toe-eigenen van de

natuur, zodat leerlingen kennismaken met inspirerende mogelijkheden om die natuur 'in cultuur te brengen', en er ook 'zelf iets van te maken'.

Uiteraard dragen dan zowel ervaringen van pedagogische ondersteuning door leraren, als van wederkerige onderlinge ondersteuning door leerlingen (helpen en geholpen worden), eraan bij dat leerlingen zich op een school thuis kunnen voelen. Maar, al dat helpen en ondersteunen moet zeker niet betekenen dat de school onttaardt tot een spanningsloze 'zorginstelling'. En, wanneer men leerlingen wil laten kennismaken met wetenschapsbeoefening dan mag dat ook niet. In dat verband is het interessant om kennis te nemen van Huizinga's visie op de speelse elementen van wetenschap. Huizinga beschouwt wetenschap als één van de cultuurelementen die weliswaar uit spel ontstaan zijn, maar die in de huidige cultuur en maatschappij een 'ernstige' rol hebben gekregen. Een dergelijke nuttige rol neemt echter niet weg dat 'spelelementen' nog steeds een essentiële functie vervullen²⁶⁸. In de huidige wetenschap herkent Huizinga deze blijvende spelelementen vooral in speelse vormen van *competitie* en *polemiek*²⁶⁹. Daarbij tekent hij echter direct aan dat deze 'agonale' spelelementen alleen goed functioneren wanneer winnen niet het hoogste doel is. De speelse strijd moet in dienst staan van kennis en waarheid. "*De ware drang tot kennis van waarheid door onderzoek schat de zegepraal over de tegenstander gering*" (1952, p. 209). Huizinga's visie impliceert dat het kennismaken met speelse vormen van strijd deel moet uitmaken van het kennismaken met wetenschap. Het lijkt mij bovendien dat onderwijs een belangrijke pedagogische rol vervult wanneer leerlingen leren dat 'sportieve' competitie, oppositie, of strijd, een spanning kunnen brengen die inspirerend is, die kan helpen om 'het beste uit jezelf te halen', en die bijdraagt aan de kwaliteit van kennis. Aan de andere kant kunnen zij ook leren dat deze inspiratie verloren gaat wanneer een dergelijke strijd zijn sportieve karakter verliest, het 'winnen' het hoogste doel wordt, de creativiteit van de één ten koste gaat van die van de ander, of het wetenschappelijke doel van het zoeken naar ware kennis niet meer wordt gediend.

Tenslotte zij opgemerkt dat er dus ook, rond het al dan niet vorming-ondersteunende karakter van sociale structuren, werk- en spelvormen, taalspelen, en interacties tussen individuen, allerlei vormen van 'waarheid' een rol spelen, die wel degelijk relevant zijn voor de kwaliteit van fysica-beoefening, maar die niet tot de categorie van kennis behoren die fysisch onderzoek zelf kan opleveren. Op de vraag, of er andere vormen van

²⁶⁸ Ook de school is volgens Huizinga een voorbeeld van deze ontwikkeling. Daarvan getuigt al de etymologische oorsprong van de term 'school', die afkomstig is van het Griekse 'scholè' dat oorspronkelijk 'vrije tijd' betekende (Huizinga, 1952, pp. 151-152; Philippa et al., 2014). In de loop van de cultuurgeschiedenis heeft onderwijs steeds meer nuttige functies gekregen en werd scholing steeds onmisbaarder voor het voortbestaan van maatschappij en cultuur.

²⁶⁹ Dergelijke 'wedstrijdelementen' herkent Huizinga ook in andere nuttige sociale verbanden, zoals rechtspraak (1952, hoofdstuk IV) en parlementaire democratie (1952, pp. 212-214).

onderzoek denkbaar zijn die de relatie tussen ondersteuning en fysieke vorming kunnen ophelderen zal ik hierna nog terugkomen in de hoofdstukken 16 (§ 3) en 17 (§ 3).

4 VAN NEGATIEVE NAAR INSPIRERENDE ERVARINGEN

In deel II is al vrij uitvoerig aandacht besteed aan negatieve ervaringen die een persoon kan opdoen die wiskundige methoden toepast om formele samenhangen te beschrijven. Deze negatieve ervaringen hingen steeds samen met de ontdekking van beperkingen die aan een mathematische benadering eigen zijn. Het ontdekken van beperkingen bleek zich vooral tot negatieve ervaring te ontwikkelen wanneer mathematici de beperkingen ontkennen en zichzelf opsluiten in een exclusivistisch reductionisme, wanneer zij verstrikt raken in polemieken rond hun eigen reductionisme of dat van anderen, of wanneer zij zich 'andersdenkenden' van het lijf houden met vormen van dualistische boedelscheiding (hoofdstuk 10, § 1.b). Daarentegen bleken mathematici dergelijke 'negatieve ervaringen' ook om te kunnen zetten in inspirerende ervaringen wanneer zij ruimte maken voor andere kennisbenaderingen en daarmee een kritisch-constructieve samenwerking aangaan (hoofdstuk 9, § 3.f). Dit laatste inzicht liep uit op een pleidooi om in school en onderwijs 'innerlijke verkokering' te voorkomen en samenwerking tussen verschillende schoolvakken te bevorderen, om zodoende leerlingen kennis te laten maken met de inspirerende mogelijkheden die dat kan opleveren (hoofdstuk 10, § 1.d).

Omdat fysica een discipline is die zich concentreert op mathematisch-formeel te beschrijven samenhangen in 'mechanismen', c.q. 'invarianties', is dit in deel II ontwikkelde betoog –met enige aanpassing van de termen- ook van toepassing op fysica. Ook fysieke wetenschappers kunnen de negatieve ervaringen van essentialistische hoogmoed, reductionisme en dualisme omzetten in inspirerende ervaringen door ruimte te maken voor andere kennisbenaderingen en door vormen van kritisch-constructieve samenwerking met andere kennisbenaderingen aan te gaan.

4.a Intuïtie als inspirerend tegenwicht

De als eerste in aanmerking komende ervaring om tegenwicht te bieden aan fysisch reductionisme is, net al bij de wiskunde, de creatieve intuïtie die eveneens voor de ontwikkeling van fysica een onmisbare rol vervult. De fysicus, die het als een geschenk ervaart om te kunnen vertrouwen op een complex proces dat hij als fysicus niet kan doorgronden, kan in dat vertrouwen een bevrijdend tegenwicht ervaren tegen de reductie van alles wat hij onderzoekt tot de simpelheid van mechanismen.

4.b De boedelscheiding van verantwoordelijkheid opheffen

In het huidige hoofdstuk kwam een vorm van dualisme aan het licht, die in deel II nog geen aandacht kreeg. Het dualisme, dat zich manifesteert in het afwijzen van elke ver-

antwoordelijkheid voor het gebruik van fysieke kennis, met het argument dat fysici nu eenmaal toepassingsneutrale kennis produceren, en dat de verantwoordelijkheid voor het gebruik van die kennis dus geheel bij de gebruikers ligt. Deze 'boedelscheiding' van verantwoordelijkheden leidt tot de negatieve ervaringen van de 'destructieve terugslag' die in § 1.b geschetst werd. Wanneer fysici deze negatieve ervaringen willen omzetten in positieve inspiratie dan moeten zij samenwerkingen aangaan met vele andere disciplines. Als voorbeeld van dergelijke multidisciplinaire samenwerking kan gedacht worden aan de Pugwash-conferenties, die op initiatief van Russell en Einstein sinds de 50er jaren van de vorige eeuw gehouden worden, en waarin onderzoekers uit allerlei takken van wetenschap en deskundigen van velerlei herkomst samenwerken aan een leefbare toekomst²⁷⁰. Zelfs een oppervlakkige kennisname van de opbrengsten en van de thema's die behandeld worden, maakt al duidelijk dat deze multidisciplinaire samenwerking veel positieve inspiratie oplevert.

Een ander voorbeeld laat de in 2015 overleden fysicus Wubbo Ockels zien. Ook hij sloot zich niet op in de ivoren toren van toepassingsneutrale fysica maar nam verantwoordelijkheid voor het gebruik van fysieke kennis. Zoals ik hiervoor al beschreef (pagina 550) was het zien, vanuit een ruimtestation, van de kwetsbare biosfeer die door menselijk toedoen ernstig bedreigd wordt, voor hem een cruciale negatieve ervaring. Ockels was een fysicus die deze negatieve ervaring kon omzetten in inspiratie, die ook op vele anderen aanstekelijk werkte. Inspiratie, om creatief vorm te geven aan duurzame wetenschap en technologie.

4.c Fragmentatie en verkokering opheffen

Toegepast op school en onderwijs is opnieuw²⁷¹ een pleidooi voor 'grensverkeer' en samenwerking tussen verschillende schoolvakken voor de hand liggend. In het geval van natuur- en scheikunde met andere vakken die eveneens 'natuur' thematiseren, zoals biologie, geologie en ecologie, maar bijvoorbeeld ook met literatuur, (kunst)geschiedenis, burgerschapsonderwijs, filosofie en levensbeschouwing. In aanvulling daarop gaf de reflectie, die in § 2 ondernomen werd, indicaties voor de wijze waarop de opgave om inspirerende morele vorming te ondersteunen aangepakt kan worden. De inleiding in een cultuuraspect dat met zoveel machtsontwikkeling verbonden is als fysica, vraagt in wezen om een mate van morele vorming die met die machtsontwikkeling in verhouding is. Inzichten in de aard van deze vorming en haar ondersteuning, zoals die in § 2 verkend werden, kunnen hopelijk helpen om in onderwijsverband (en daarbuiten) vorm te geven aan deze ondersteuning.

²⁷⁰ De Pugwash-beweging werd al eerder genoemd op pagina 558 in voetnoot 265.

²⁷¹ Zie de eerdere pleidooien in deel II, hoofdstuk 10, § 1.d / *Fragmentatie en verkokering opheffen*, en hoofdstuk 10, § 2.b, *Ondersteunen dát leraren wiskunde ondersteund worden / Inhoudelijk schoolbreed*.

4.d Irreële mythen ontmaskeren

Voorts wil ik nog kort stilstaan bij een andere negatieve ervaring die fysici in verband met hun wetenschap kunnen opdoen. De 'sprookjesachtige', metaforische taal waarin kwantumfysici hun microwereld beschrijven²⁷² heeft velen verleid tot interpretaties die veel meer 'wetendheid' pretenderen dan gerechtvaardigd is. Gerard 't Hooft beschrijft deze negatieve ervaring als volgt: "*de hoeveelheid onzin die wordt beweerd is zo groot dat het onbegonnen werk is daar als nuchtere fysicus tegenin te gaan*" (2014, p. 28). Als voorbeelden noemt hij op diezelfde pagina: dat het leven op aarde ontstaan zou zijn uit dode materie 'door een kwantsprong', dat we onze vrije wil en ons bewustzijn te danken zouden hebben aan de kwantummechanica, of dat paranormale verschijnselen aan de willekeur van kwantummechanische wetten toe te schrijven zouden zijn. Het lastige is bovendien, dat het niet alleen buitenstaanders zijn die zich aan mystificatie van de kwantummechanica schuldig maken, maar dat er ook fysici zijn die de kennelijke verleiding daartoe niet kunnen weerstaan. 't Hooft merkt daarover op: "*natuurkundigen zouden het als hun taak moeten zien tegen mysticisme ten strijde te trekken, maar velen van ons zijn daar niet zo handig in*" (2014, p. 30).

4.e Inspirerend leren van geschiedenis

Kennelijk wordt de mate van onwetendheid die gepaard gaat aan kwantum-fysische kennis vaak verkeerd ingeschat. Deels zal dit voortkomen uit de behoefte om dierbare overtuigingen bevestigd te zien door een wetenschap met veel gezag, en deels zal het ook te maken hebben met de moeilijkheid van het scherp onderscheiden van de grens tussen kennis en onwetendheid. Het lijkt erop dat het besef van die grens in de loop van de tijd vervaagt. Als illustratie herinner ik aan het voorbeeld van Newtons gravitatiewet (pagina 401). In discussie met zijn tijdgenoten gaf Newton zelf duidelijk uitdrukking aan zijn besef, dat hij wel een nauwkeurig kloppende mathematische beschrijving van bewegingswetten had ontwikkeld, maar geen aanspraak wilde maken op kennis van de raadselachtige werking die daaraan ten grondslag lag (voetnoot 106). Gewenning aan de oorspronkelijk metaforisch bedoelde taal van 'aantrekkingskracht' maakte echter dat men op den duur deze taal letterlijk ging nemen, en de 'aantrekkingskracht' als een vanzelfsprekende realiteit ging ervaren. In die tijd zou bijna niemand protesteren wanneer beweerd zou worden 'dat de fysica immers bewezen heeft dat er kracht op afstand bestaat'. Bijna niemand kon toen nog vermoeden dat een latere fysicus dit concept van 'kracht op afstand' weer naar de prullenbak zou verwijzen (pagina 392 e.v.).

De geschiedenis van 'kracht op afstand' laat een herhaling zien van de geschiedenis van de 'zwaartekracht' die door Galileï als mystificatie werd ontmaskerd (pagina's 325 e.v. en 400 e.v.). Eigentijdse herhalingen van dergelijke geschiedenissen zien we

²⁷² Zie onder andere hoofdstuk 14, § 7.

opnieuw in onze tijd. Wanneer de fysische wetenschap van deze geschiedenissen wil leren, dan moet zij zich kritisch beraden op haar eigen kennisaanspraken. De Kopenhaagse school is een voorbeeld van een stroming onder fysici die ernst maakt met deze kritische zelfreflectie. Het was voor mijn fysische vorming inspirerend om via mijn leermeester Sizoo kennis te maken met deze stroming en met Sizoo's eigen bijdrage daaraan (hoofdstuk 13, § 2.e). Het gaat om een zelfreflectie waarmee fysica zich van de grenzen van haar eigen kennis bewust maakt, zichzelf relateert tot een beperkte vorm van mensenwerk, en zodoende ook ruimte maakt voor interesse in andere kennisbenaderingen. De dankbaarheid voor deze inspiratie heeft bewerkstelligd dat ik op mijn beurt in deze studie ruime aandacht wilde geven aan de onwetendheid van fysische wetenschap.

Het lijkt mij van groot belang dat niet alleen het universitaire onderwijs in fysische wetenschappen, maar ook het primaire onderwijs en het voortgezette onderwijs elk op hun niveau hun onderwijs begeleiden met vormen van deze inspirerende kritische zelfreflectie. Mijn ervaringen in het voortgezette onderwijs hebben mijn overtuiging van dit belang sterk bevestigd. Daarvan getuigen de gedeeltes over 'met leerlingen filosoferen over natuurkunde' in het vorige hoofdstuk (§ 1 en § 7).

Om nu te verkennen welke inhoud uit het huidige hoofdstuk vertaald zouden kunnen worden naar onderwerpen voor gesprek met leerlingen in het voortgezet onderwijs, zal ik dit hoofdstuk nu besluiten met een paragraaf die de draad van het filosoferen met leerlingen weer opneemt.

5 VERVOLGREACTIES OP DE TWEEDE LEERLINGVRAAG

In de laatste paragraaf van het vorige hoofdstuk gaf ik aan dat ik met leerlingen graag zou willen doorpraten over de vraag, welke ervaringen vakken zoals natuurkunde en scheikunde zinvol kunnen maken voor een fysicus.

In deze paragraaf zal ik alleen ingaan op de mogelijke *inhouden* van dergelijke gesprekken. Het antwoord op de vraag of dergelijke gesprekken ook werkelijk vorming-ondersteunend fungeren hangt uiteraard niet alleen af van de inhoud, maar ook van *de wijze waarop* de gesprekken gevoerd worden. Daarom zal ik in hoofdstuk 17 (§§ 2 en 3) nog terugkomen op het ondersteunen van vorming via dergelijke gesprekken, en op de eisen die daaruit volgen voor de niet-inhoudelijke aspecten daarvan.

5.a Passie voor fysica

De eerste en de derde paragraaf van het huidige hoofdstuk bieden voor de hand liggende aanknopingspunten om met leerlingen gesprekken te voeren over inspirerende ervaringen. Daarom werd in die paragrafen op verschillende plaatsen ook al opgemerkt dat de inspirerende ervaringen die daar benoemd werden zich goed kunnen lenen voor gesprekken met leerlingen. Uit de vele voorbeelden die aan de geschiedenis van schei-

en natuurkunde, en aan de eigen ervaringen van de leraar zelf, ontleend kunnen worden kan iedere leraar zijn eigen keuze maken. In de mate dat in die gesprekken ook aangesloten kan worden bij inspirerende ervaringen die de leerlingen zelf in het schei- en natuurkunde onderwijs hebben opgedaan, zullen zij ook de voorbeelden uit de geschiedenis (of uit het leven van hun leraar) beter herkennen.

5.b Van hoogmoedig naar bescheiden mensbeeld

Wanneer deze gesprekken ertoe leiden dat de leerlingen zich enigszins kunnen voorstellen dat een fysicus of chemicus 'verliefd kan worden' op zijn vak, dan zou dit gesprek een wending kunnen krijgen naar een gesprek over *het mensbeeld*. De verwondering over het gegeven dat wij mensen, die zelf ook deel uitmaken van de natuur, kennis en begrip van de natuur kunnen krijgen kan een aanknopingspunt voor die wending bieden.

Dit gesprek zou kunnen aanknopen bij het hoogmoedige mensbeeld dat eeuwenlang voor fysici en mathematici vanzelfsprekend was. Het voorbeeld van de extase van Kepler, dat aan het begin van dit hoofdstuk genoemd werd (pagina 515), kan gebruikt worden om iets te vertellen over de oude traditie waarin fysici zichzelf zagen als 'kleine collega's' van de 'Grote Mathematische Fysicus' die bij zijn schepping van de natuur van wiskundige regels is uitgegaan. Deze fysici konden in reactie op de bovengenoemde verwondering reageren met één van de varianten op de oude opvatting dat de mens weliswaar deels zelf tot de natuur behoort, maar daar deels ook buiten valt omdat hij door God 'apart' geschapen is 'naar Zijn beeld', hetgeen zou betekenen dat de mens enkele eigenschappen met God gemeen heeft. Fysisch-mathematisch inzicht zou dan één van die 'goddelijke', niet-natuurlijke, eigenschappen moeten zijn. Het kan boeiend zijn om met leerlingen van deze tijd over dit oude mensbeeld in gesprek te gaan.

Een tot in onze tijd voorkomende uitloper van deze 'fysicalistische hoogmoed' is de opvatting dat de fysische toetsings-benadering, de uiteindelijke scheidsrechter moet zijn voor *alle* waarheidsvragen. Deze opvatting berust op het taaie geloof dat de 'natuurwetenschappelijke methode' kennis van dé essentie van dé werkelijkheid oplevert, en gaat voorbij aan de in deze studie uitvoerig beschreven beperkingen van de 'fysische bril'. Omdat deze hoogmoed voor veel mensen strijdig is met hun ervaringen, heeft zij zichzelf ongeloofwaardig gemaakt, en heeft zij ook het tegendeel bewerkstelligd van wat haar bedoeling was. Het gangbare motto "er is immers veel meer dan wat de wetenschap kan meten ..." wordt door velen als vrijbrief gebruikt voor kritiekloze aanvaarding van allerlei nieuwe en oude soorten van magie, animisme, occultisme, toverij, et cetera. Daarom is naar mijn overtuiging een gesprek met leerlingen over de reële beperkingen van de fysische bril zeer belangrijk. En in aanvulling daarop zijn gesprekken over de vraag hoe men, ook op gebieden waar de fysica geen scheidsrechter kan zijn, toch waarheids-criteria kan hanteren, van groot pedagogisch belang.

In de loop van een dergelijk gesprek zou ik als leraar en opvoeder ook kleur moeten bekennen, en voor de dag moeten komen met mijn eigen mensbeeld. Om mij daarop voor te bereiden kan ik voor mijzelf de belangrijkste elementen van mijn gedachtegang over het mensbeeld op een rij zetten:

- In de eerste plaats zou ik kunnen uitleggen hoe, naar mijn opvatting, het oude beeld van het mens-zijn, als een schepsel dat op essentiële aspecten (waaronder het logische of mathematische denken) buiten de natuur valt, ertoe geleid heeft dat 'natuur' en 'cultuur' uit elkaar werden gespeeld. Daarbij ontstond het beeld van de natuur als een 'wildernis' waarop het cultuurgebied veroverd, of waartegen het cultuurgebied verdedigd moest worden. De cultuur werd daarbij opgevat als een thuisbasis voor de mens *tegenover* de natuur (pagina 379). Deze tegenoverstelling had als consequentie dat er geen andere grenzen gezien werden voor de exploitatie en onderwerping van de natuur dan alleen het 'egocentrische' eigenbelang van de mens (pagina 379). Die 'egocentrische' exploitatie en onderwerping heeft in onze tijd geleid tot milieuproblemen die moeilijk oplosbaar zijn. In navolging van anderen zie ik die oude tegenoverstelling en het 'egocentrische' denken en handelen als één van de factoren die de milieuproblematiek moeilijk maken. De verleiding is nog steeds groot om de mens niet te zien als deel van de natuur en dus ook niet te zien als deel van de ecologische problemen. Een perspectiefrijke benadering vraagt naar mijn opvatting om het verlaten van de hoogmoed van dit oude mensbeeld. Een belangrijk element van die 'bekering' is juist het *beseft* van het onontkoombaar menselijke karakter van ons natuurbeeld. Dit menselijke karakter blijft ook kenmerkend voor de beeldelementen die wij aan de fysische wetenschappen ontleen. Het is belangrijk om te erkennen dat ook *dé* wetenschap mensenwerk is, en dat *dé* natuur nog steeds *té* groot is voor ons bevattingsvermogen omdat wij er -ook in de wetenschap- 'met huid en haar' deel van blijven uitmaken. Daarom was het voor mij inspirerend om in mijn leermeester Sizoo een fysicus te ontmoeten die juist in de fysica van zijn tijd een bevestiging zag van het gegeven dat een absoluut en goddelijk 'buitenstandpunt' aan mensen niet gegeven is (pagina 438 e.v.).
- In de tweede plaats ben ik onder de indruk geraakt van de biologen die in toenemende mate bij dieren kenmerken ontdekken waarvan gedurende lange tijd aangenomen werd dat alleen mensen daarover beschikken. Tot die kenmerken behoren het gebruik van gereedschappen en het inzicht in invarianties (pagina 488). Uiteindelijk is het taalvermogen, dat op het gebruik van vrij gekozen symbolen gebaseerd is, het enige vermogen waarvan nog steeds in brede kring aangenomen wordt dat dit een verschil markeert tussen mensen en andere levende wezens (pagina 494).
- Wanneer 'taal' het enige vermogen is waarmee mensen zich onderscheiden, dan moet ook de ontwikkeling van fysische wetenschap vanuit dit ene verschil te begrijpen zijn. Vooral bij Polanyi heb ik een boeiende poging gevonden om fysische wetenschap zo te begrijpen. Hij vergelijkt in taal geformuleerde kennis met de gereedschappen die mensen en sommige dieren gebruiken als verlengstukken van hun lichamelijkeheid (pagina 481-496). Zo gezien is ook fysische kennis te beschouwen

als een bijzondere vorm van 'gereedschap' dat echter, als verlengstuk van onze lichamelijke en onze aangeboren vermogens, nog steeds in onze menselijke lichamelijke geworteld is. Het bijzondere van dit gereedschap is, dat het gebaseerd is op symbolische taal, en dat het gebruik van deze soort van gereedschap zich alleen bij mensen heeft ontwikkeld. Mensen hebben aan het gebruik van dit 'gereedschap' belangrijke winstpunten ontleend (zie pagina 496-509).

- Van moderne biologen heb ik geleerd dat zowel mensen als veel dieren niet alleen gericht zijn op nuttigheid, maar ook op zaken die zij waarderen om-zichzelf, en dat dit tot uitdrukking komt in 'genieten' en 'spelen' (begin § 2.a). Van Levinas heb ik geleerd (§§ 2.a en 2.c), dat dit leren genieten en spelen bij mensen beschouwd kan worden als een belangrijk niveau van hun menswording. Deze zienswijze volgend kan ik uitleggen dat mensen ook hun vermogen om fysische kennis te ontwikkelen niet alleen ervaren als een nuttig hulpmiddel, maar ook dermate van dit vermogen kunnen genieten dat zij het als doel in zichzelf ervaren en uitleven. Vanuit een meer bescheiden mensbeeld kan dit genieten beschreven worden als de ervaring *dat in ons de natuur de ogen opent en zichzelf ziet*. Die ervaring bewijst dan niet dat mensen buiten de natuur staan en daar een goddelijk gezichtspunt op hebben, maar dat mensen deel uit kunnen maken van een wonderlijk mooi en mysterieus proces dat zich binnen de natuur afspeelt. Einstein was één van de fysici die dit zo ervoeren, en bij wie deze ervaring eerder tot bescheidenheid dan tot hoogmoed aanleiding gaf. Daarvan getuigt het citaat op pagina 523.
- Langs deze weg ben ik uitgekomen bij het meer bescheiden beeld, dat de mens wel een bijzondere plaats inneemt *binnen* de natuur, maar niet buiten of boven de natuur.

Een dergelijke inhoudelijke voorbereiding impliceert uiteraard *niet* dat al deze elementen van en overwegingen bij mijn eigen mensbeeld ook werkelijk in een gesprek aan de orde zullen komen. In een werkelijk gesprek zal ik als leraar allereerst belangstelling moeten tonen voor de reacties van leerlingen (bijvoorbeeld op het klassiek-hoogmoedige mensbeeld), en hun onderlinge interacties. Maar, de ervaring leert dat deze belangstelling er vaak toe leidt dat zij ook van de leraar willen weten wat die ervan denkt. Zij mogen immers aannemen dat de leraar hier langer over heeft kunnen nadenken dat zijzelf, en daarom zijn zij vaak wel degelijk benieuwd zijn naar zijn opvattingen. Maar, wat er van die opvattingen adequaat aan de orde kan komen hangt uiteraard af van het verloop van het gesprek. Het lijkt mij bovendien belangrijk dat de leraar bij wat er aan de orde komt benadrukt dat hij tot zijn visie is gekomen door *zélf* na te denken, en niet door anderen na te praten, en dat hij daarom de leerlingen op het hart wil drukken om in hun verdere leven ook geen napraters te zijn, maar vooral zelf na te denken (wat natuurlijk niet uitsluit dat zij, net als hun leraar, daarbij gebruik kunnen maken van ideeën van anderen).

5.c Macht, geld, en inspirerende verantwoordelijkheid

Om op het thema van verantwoordelijkheid te komen kan een gesprek met leerlingen beginnen bij de constatering, dat fysische kennis bijna altijd ook de ontdekking met zich meeneemt dat wij mensen *macht* over de natuur kunnen uitoefenen. Het gaat om een vorm van kennis die in zeer veel gevallen technisch toepasbaar is, hetgeen betekent dat wij dingen kunnen maken die voor ons een functie of een taak vervullen die wij om de één of andere reden van belang vinden. Deze 'bijvangst' van fysische kennis speelt al een rol vanaf de oudheid (bouwwerken, schepen, oorlogstuig, et cetera), maar is in de 'moderne tijd' (vanaf de 17^e eeuw), en zeker na de industriële revolutie enorm belangrijk geworden.

Aan de geschiedenis kunnen vele voorbeelden ontleend worden van fysici die betrokken raakten bij oorlogvoering (Archimedes, Leonardo Da Vinci, ..., et cetera). De enorme toename van de rol van technologie bij oorlogvoering kan geïllustreerd worden aan het verloop van de tweede wereldoorlog. De betrokkenheid van Einstein (als pacifist!) bij de ontwikkeling van de eerste atoomwapens (pagina 528), en de reactie van andere fysici die de Szilard petitie aan Truman stuurden²⁷³ kan de gewetensproblemen illustreren die dit bij fysici opriep. Het 'Manifesto' (1955) en de Pugwash conferenties²⁷⁴ kunnen daarnaast illustreren dat fysici, die ervaringen hebben opgedaan met extreem vernietigend gebruik van hun kennis, er behoefte aan hebben om zich niet alleen te engageren met hun mooie vak, maar ook met een maatschappelijke beweging die zich inzet voor menswaardig gebruik van fysische kennis.

In onze tijd zou onze maatschappij en cultuur niet meer kunnen overleven zonder veel van die technische toepassingen. En daarnaast spelen die toepassingen een onmisbare rol in de vele producten en diensten die ons leven vergemakkelijken of veraangemen, en die voor ons 'welzijn' of 'welstand' betekenen. Daarom betekent fysische kennis in onze tijd automatisch niet alleen *macht*, maar ook *geld*. Het is de soort van kennis die geleid heeft tot het motto '*kennis is kassa*'.

Wanneer je een opleiding in de scheikunde of natuurkunde hebt gevolgd en daarmee je geld wilt gaan verdienen, dan kun je dat merken aan het spanningsveld waarin je dan terecht kunt komen. Het spanningsveld, waarin je in principe de drie opties hebt die hiervoor op pagina 557 beschreven zijn: 1. het geld aannemen en je geweten sussen; 2. het mooie vak vergeten, geld en gunsten als 'hoofdvangst' zien; 3. proberen een baan te vinden die op twee manieren kan inspireren. De leraar kan deze drie opties aan levens-echte voorbeelden illustreren. In een gesprek over dit spanningsveld is het voor leerlingen bovendien interessant om te horen hoe hun natuur- of scheikundeleraar hier zelf mee is omgegaan, en of dit (mede) heeft bepaald dat hij/zij bij het leraarschap is uitge-

²⁷³ Zie voetnoot 220 op pagina 529.

²⁷⁴ Zie voetnoot 265 op pagina 558 en pagina 564.

komen. Vervolgens kan het boeiend zijn om nog meer voorbeelden te bespreken van het omgaan met ethische dilemma's, zoals door 'klokkenluiders'.

In deze tijd zou ik als leraar ook de voorbeelden van fysicus Wubbo Ockels (pagina's 550 en 564), medicus André Kuipers, en de bij Urgenda betrokken wetenschappers willen inbrengen. Hun omzetting van de negatieve ervaring van de beschadigde biosfeer, naar de inspiratie om met behulp van mathematische, fysische, biologische en vele andere soorten van kennis, toepassingen met toekomstperspectief te ontwikkelen, ervaar ik als inspirerend en hoopgevend. Zij laten zien hoe de inspiraties van prachtige vakken, en van het mogelijk maken van toepassingen met toekomstperspectief, elkaar kunnen versterken.

5.d Dankbaarheid

In § 2.e werd dankbaarheid beschreven als de deugd om inspirerende ervaringen als geschenk te kunnen ontvangen en zich daarover te verheugen. In verband met fysische wetenschap betreft dit verheugen zowel de inspirerende ervaringen van 'egoïstisch' genieten en spelen, als de inspirerende ervaringen van zinvolle toepassingen. Bovendien bleek deze dankbaarheid een brug te kunnen slaan tussen de twee voornoemde soorten van inspirerende ervaringen, omdat de dankbaarheid voor het genieten en spelen mede kan inspireren om 'binnen te treden in een beweging van goedheid' (pagina 553). Dankbaarheid kan dus zelf ook inspireren, en ondersteunen dat fysici verantwoordelijkheid nemen voor de toepassingen van de door hen ontwikkelde kennis. Men moet dan wel onderscheiden tussen twee soorten: sociaal wenselijke dankbaarheid en zingevende dankbaarheid.

Het bespreken met leerlingen van deze twee soorten lijkt mij goed mogelijk. Zowel de leerlingen als ikzelf zullen uit eigen ervaring allerlei voorbeelden van beide soorten kunnen geven. Daarbij is de eerste soort natuurlijk de gemakkelijkste. Bij de tweede soort moet ik als leraar waarschijnlijk zelf eerste voorbeelden geven om bij leerlingen de herkenning op te roepen die maakt dat een aantal van hen ook op voorbeelden kan komen.

Wanneer ik nu met een eigen voorbeeld zou moeten komen, dan zou ik -als leraar natuurkunde- waarschijnlijk beginnen met mijn dankbaarheid voor de bemoediging die ik van Sizoo kreeg om natuurkunde te beschouwen als betrekkelijk mensenwerk te midden van alle andere soorten van mensenwerk. Ik had zelf al eerder wantrouwen ontwikkeld voor arrogante natuurkundigen, die hun waarheid verkondigen als enige, zekere en volstrekt objectieve waarheid, en voelde mij dus bemoedigd toen een geleerde professor zoals Sizoo mijn vage vermoedens bevestigde. Bovendien toonde Sizoo een passie voor filosoferen over natuurkunde die mijn toen net ontloken eigen passie voor filosoferen ook aanmoedigde. Uit dankbaarheid voor die bemoedigingen greep ik indertijd de kans die ik van mijn leerlingen kreeg graag aan om op mijn beurt hen aan te moedigen om kritisch na te denken over de pretenties en de waarde van natuurkunde.

Daarnaast zou ik ook voorbeelden kunnen geven van ideeën, ontdekkingen, houdingen of principes die ik aan mijn ouders of aan andere leraren te danken heb, en die voor mijn leven nog steeds van groot belang zijn. Ik vermoed dat ook leerlingen daarop kunnen reageren met eigen voorbeelden, die uiteraard ook op allerlei gebieden kunnen liggen die weinig of niets met natuurkunde te maken hebben.

Om goede voorbeelden te kunnen geven uit de levens van bekende natuurkundigen zou ik aanvullend onderzoek moeten doen²⁷⁵. Een eerste zoektocht in geschriften van Einstein leverde enkele tekstfragmenten op die in de richting wijzen van zingevende dankbaarheid. In *Mein Weltbild* uit 1934 is een tekst opgenomen onder de kop *Jewish Ideals*. In Engelse vertaling is daar te vinden: "*The pursuit of knowledge for its own sake, an almost fanatical love of justice, and the desire for personal independence -these are the features of the Jewish tradition which make me thank my stars that I belong to it*" (1982a, p. 185). Even verder beschrijft hij onder de kop *Is there a Jewish point of view?* dat hij aan de Joodse traditie ook een bijzonder concept van leven en van de waarde daarvan te danken heeft: "*The essence of that conception seems to me to lie in an affirmative attitude to the life of all creation. The life of the individual only has meaning in so far as it aids in making the life of every living thing nobler and more beautiful. Life is sacred, that is to say, it is the supreme value, to which all other values are subordinate*" (1982a, p. 186). Het lijkt mij dat deze citaten voor zichzelf spreken, en het lijkt mij ook duidelijk dat de waarden die Einstein aan de Joodse traditie dankte hem in sterke mate geïnspireerd hebben in zijn werk en in zijn leven. Door die inspiraties te volgen heeft hij die traditie op aansprekende wijze voortgezet.

²⁷⁵ Zoals ik eerder al opmerkte op pagina 558.

HOOFDSTUK 16

Drie familiekwesities

Het volgen van de drie 'rode draden', die het stramien vormden voor het vorige hoofdstuk, heeft voldoende opgeleverd om nu de overgang te kunnen maken naar de richtvragen die in de inleiding tot dit deel geformuleerd werden. Om dit duidelijk te maken zal ik nu eerst kort resumeren wat het volgen van deze drie rode draden heeft opgeleverd.

De eerste rode draad betrof de positief en negatief inspirerende ervaringen, die voor fysici zin kunnen geven aan de beoefening van hun discipline. In het vorige hoofdstuk zijn deze categorieën van inspirerende ervaringen op een rij gezet, en voorzien van suggesties voor het 'vertalen' van dergelijke ervaringen naar het onderwijs.

De tweede rode draad betrof het uitwerken van een algemeen vormingsconcept, dat verheldering kan brengen bij vraagstukken rond de vorming van fysici. Het volgen van deze rode draad leidde tot een vormingsconcept dat gebaseerd is op een onderscheiding in drie dimensies:

- a. Vorming als het leren van zingevend genieten en spelen,
- b. vorming als het leren van zingevende ethische onderbreking,
- c. vorming als het leren van zingevende dankbaarheid.

Deze onderscheiding werd toegepast op de vorming van fysici in het algemeen, en vertaald naar suggesties voor het onderwijs in de exacte natuurwetenschappen.

De derde rode draad betrof het filosoferen met leerlingen over natuurkunde. In de laatste paragraaf werd deze draad weer opgepakt, en werden, in aanvulling op hoofdstuk 14, nieuwe suggesties geformuleerd voor thema's die bij dit filosoferen aan de orde kunnen komen.

Nu deze rode draden tot een (voorlopig) eindpunt zijn gebracht, kan de overgang gemaakt worden naar het beantwoorden van de eerste drie richtvragen uit de inleiding tot dit deel (pagina 109):

1. *Welke sterke kanten en beperkingen, en welke interacties met mens- en wereldbeelden, karakteriseren dit familielid, fysische wetenschap, te midden van de familie als geheel?*
2. *Stelt dit familielid specifieke eisen aan de werkwijze bij onderzoek?*
3. *Kan de samenhang tussen 'ondersteuning' en 'vorming' volgens dit familielid beschouwd worden als een modus van onderzoekbare gevolijkheid?*

Het antwoord op de eerste richtvraag zal gebaseerd zijn op een samenvatting van de hoofdstukken 11 tot en met 13.

1 POSITIE TE MIDDEN VAN DE FAMILIE

De eerste van de hierboven genoemde richtvragen dient als leidraad voor deze paragraaf:

Welke sterke kanten en beperkingen, en welke interacties met mens- en wereldbeelden, karakteriseren dit familiedid, fysische wetenschap, te midden van de familie als geheel?

Omdat de inhoud van de hoofdstukken 11 tot en met 13 in dit deel III nog niet eerder is samengevat (zoals in deel II), zal nu een reflectieve samenvatting gegeven worden. Bij ieder gedeelte van de samenvatting zal de bovenstaande richtvraag beantwoord worden, en de deel-antwoorden zullen aan het eind (in § 1.j) tot een geheel samengevoegd worden. Verwijzingen naar externe literatuur zullen in deze samenvatting weggelaten worden. Lezers die de uitvoerige samenvatting willen overslaan kunnen direct doorgaan naar § 1.j (pagina 598) waarin sterke kanten, beperkingen, en interacties met mens- en wereldbeelden beknopt worden samengevat.

1.a Identiteit

In de inleiding van dit deel (pagina 319 e.v.) werd fysische wetenschap (als geheel van natuur- en scheikunde) geïntroduceerd als tak van wetenschap die zich erop toelegt om met behulp van wiskunde nauwkeurig te voorspellen. Deze ambitie motiveerde tot een ontdekkingsstocht, die van steeds meer natuurlijke systemen aan het licht bracht hoe hun kenmerken met behulp van wiskunde nauwkeurig verklaarbaar en voorspelbaar zijn. Deze successen hebben ertoe geleid dat de rol van wiskunde in de natuurwetenschappen steeds prominenter werd.

De keerzijde van deze ontwikkeling is dat fysica zich *beperkt* tot natuurlijke systemen die exacte voorspelbaarheid toelaten. Wanneer fysica systemen onderzoekt die in de loop van de tijd veranderen ('dynamische systemen'), dan heeft die beperking als consequentie dat de fysica zich beperkt tot systemen waarvan toekomstige kenmerken wiskundig voorspeld kunnen worden. Dergelijke systemen worden aangeduid als '*mechanismen*' of '*invarianties*'.

'Mechanismen' moeten daarom onderscheiden worden van 'machines'. Een machine is niet een natuurlijk systeem, maar een door mensen *gemaakt* systeem dat bepaalde functies moet vervullen en aan doelen moet beantwoorden. Machines kan men dus alleen als machines begrijpen wanneer hun functionaliteit in de begripvorming wordt meegenomen. De veel voorkomende verwarring tussen machines en mechanismen komt voort uit het kenmerk dat machines zodanig ontworpen zijn, dat zij zich op de verklaarbare en voorspelbare wijze van mechanismen gedragen. Daarom kan men een 'machine-systeem' ook als 'mechanisme' beschouwen. Een dergelijke beschouwing impliceert dan echter het afzien van elke verwijzing naar functies of doelen.

In de inleiding van hoofdstuk 11 (pagina 321) werd het verwijderen van de aristotelische *causa finalis* uit het concept van gevolglijkheid van de fysica, genoemd als een belangrijk moment in de identiteitsontwikkeling van fysica. Daarmee werd de biologie, voor zover deze het niet zonder verklaringen vanuit functionaliteit kan stellen, buiten de exacte natuurwetenschappen geplaatst.

Als cruciaal verschil met de identiteitsontwikkeling van wiskunde werd genoemd, dat de fysica haar oriëntatie op waarheid handhaafde, in de zin van correspondentie tussen model-systeem en origineel systeem.

Sterk:

- ontdekking van vele manieren waarop de kenmerken van steeds meer natuurlijke systemen verklaard en voorspeld kunnen worden met behulp van wiskunde;
- handhaving van de kritische oriëntatie op waarheid, in de zin van correspondentie tussen model en origineel.

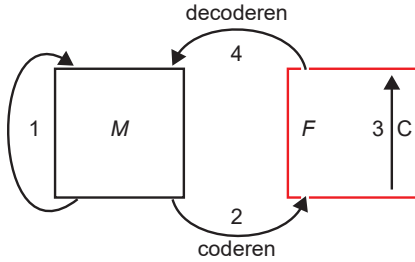
Beperkingen:

- uitsluiting van systemen die (of voor zover deze) geen wiskundige beschrijving en verklaring toelaten;
- uitsluiting van *causa finalis*; uitsluiting van elke verklaring vanuit functies of doelen; uitsluiting van machines áls machines; uitsluiting van verklaringen van levende systemen vanuit functionaliteit.

1.b Erfenis en nieuwe concepten

In § 1 van hoofdstuk 11 (pagina 322 e.v.) werd betoogd dat de klassieke fysica gezien kan worden als voortzetting van de oude 'empirische' reken- en meetkunde, waarbij (in aanvulling op de reken- en meetkundige kenmerken) nieuwe kenmerken gecodeerd worden in wiskundige variabelen (pijl 2). Deze nieuwe, 'fysische' kenmerken van een systeem M betreffen kenmerken zoals: tijd, snelheid, versnelling, massa, kracht, et cetera. Wanneer de correspondentie tussen M en F zodanig is dat $2+3+4=1$ (binnen de gewenste nauwkeurigheid), dan wordt de logische gevolglijkheid van F opgevat als beschrijving van de causale gevolglijkheid van mechanisme M .

Figuur 34



Zodoende 'erft' de fysica van de wiskunde de in deel II beschreven scheiding van semantiek en syntaxis, en is de metafoor van de 'isoleercel' ook geheel van toepassing op fysische modelvorming. Daarmee erft de fysica tegelijk enkele sterke kanten en beperkingen van wiskunde, die in deel II werden opgesomd (hoofdstuk 9, § 1.a):

- Het vermogen om in concrete systemen, via idealiseren en abstraheren, generieke vormen te herkennen.
- Het vermogen om generieke gevolgtrekkingen onderzoekbaar te maken.
- Het vermogen om kennis te ontwikkelen die geldig is voor hele categorieën van objecten.
- Deze sterke kant impliceert de beperking dat de mathematische en dus ook de fysische bril berust op het afzien van onregelmatigheden, onzuiverheden, of unieke kenmerken. Generaliseerbare aspecten worden 'tot begrip gebracht' en het unieke verdwijnt uit beeld.

Het blijvende streven naar waarheid impliceert voor de fysica dat deze streeft naar zo *nauwkeurig mogelijke* correspondentie tussen systeem M en model F . Die nauwkeurigheid is in de loop der eeuwen, door de voortdurende verbetering van observatie-instrumenten en -methoden, sterk toegenomen. Maar, meetnauwkeurigheid is per definitie nooit volmaakt en blijft in principe altijd verbeterbaar. Het streven naar waarheid door de fysica behoudt daarom als keerzijde de acceptatie van marges van onnauwkeurigheid (c.q. marges van onzekerheid).

Een nieuw concept, dat met de mechanica zijn intrede deed, was het concept '*toestand*'. De momentane toestand van een dynamisch systeem wordt gecodeerd in 'toestandsvariabelen' die samen de 'toestand-op-een-bepaald-moment' beschrijven. Het model M moet dan beschrijven volgens welke logische gevolgtrekking (c.q. 'wet') latere toestanden uit eerdere toestanden afgeleid kunnen worden.

Tenslotte werd in deze paragraaf beschreven hoe een ander nieuw concept, het concept '*omgeving*' in de mechanica geïntroduceerd werd. Aan de hand van het 17^e-eeuwse onderzoek door Galileï naar vallende systemen werd toegelicht hoe deze zich gedwongen zag om een omgevingskenmerk (de waarde van de valversnelling) in zijn modelvorming mee te nemen. Sindsdien is het onderscheid tussen systeem en omgeving, en het bij modelvorming rekening houden met de bepalende invloed die de omgeving op een

systeem kan uitoefenen, een vast kenmerk geworden van de manier waarop de fysica haar voorwerpen van onderzoek benadert.

Sterk:

- het onderzoekbaar maken van generieke vormen in concrete systemen;
- het ontwikkelen van kennis die toepasbaar is op hele categorieën van objecten;
- het streven naar zo nauwkeurig mogelijke correspondentie tussen model en origineel;
- het concept 'toestand';
- de onderscheiding tussen 'systeem' en 'omgeving'.

Beperkingen:

- er wordt afgezien van onregelmatigheden, onzuiverheden en unieke kenmerken;
- nauwkeurigheid blijft altijd beperkt en verbeterbaar.

1.c Eisen aan waarnemingen en observeerbare objecten

In § 2 van hoofdstuk 11 (pagina 330 e.v.) werd ingegaan op de eisen waaraan waarnemingen en observeerbare kenmerken in de fysica moeten voldoen. Om te beginnen werden de eisen voor waarnemingen in drie 'hoofdeisen' samengevat:

1. Waarnemingen moeten in de onderzoeksgemeenschap gemeenschappelijk beheerd kunnen worden.
2. Waarnemingen moeten met een zo groot mogelijke zekerheid als 'feiten' vastgesteld kunnen worden.
3. Waarnemingen moeten bruikbaar zijn voor de modelvorming die bij een specifiek onderzoek wordt beoogd.

Wanneer het waarnemen en de waarneembare kenmerken aan deze eisen voldoen, dan kan er gesproken worden van '*observeren*', '*observaties*' en '*observeerbare kenmerken*'.

Uit 1. en 2. volgde de globale eis van herhaalbaarheid, waaruit drie nadere eisen werden afgeleid:

- a. Het object van onderzoek moet op herhaalbare wijze, aan enkele *vaste* kenmerken, geïdentificeerd kunnen worden, en het 'zuivere object' moet reproduceerbaar zijn.
- b. De waarnemer beperkt zich tot een 'objectieve blik' die door andere waarnemers gereproduceerd kan worden.
- c. De waarnemer vermijdt (of repareert) verstoring van het waargenomen systeem door de waarneming (het 'meetprobleem').

Uit 3. volgden enkele nadere eisen waaraan observeerbare kenmerken moeten voldoen om bruikbaar te zijn voor modelvorming:

- Het aantal veranderlijke kenmerken dat de gezochte invariante gevolglijkheid (kortweg de '*invariantie*') belichaamt moet *eindig* zijn.
- Er moeten veranderlijke kenmerken zijn die *verschillen per instantie* van het generieke object.
- Er moeten, bij een dynamisch systeem, veranderlijke kenmerken zijn die *veranderen binnen één instantie* van het generieke object.
- Al deze veranderlijke kenmerken moeten meetbaar zijn aan uniforme maatstaven.
- De gebruikte veranderlijke kenmerken moeten codering (vertaling) in afhankelijke en onafhankelijke variabelen toelaten.

Het voldoen aan het bovenstaande 'pakket van eisen' is noodzakelijk om de eerder genoemde sterke kant van de 'fysische bril' –het vinden van generieke gevolglijkheden die toepasbaar zijn op hele categorieën van objecten- te realiseren. Tegelijk maakt dit pakket van eisen duidelijk dat de uitsluiting van vele (aspecten van) waarnemingen de keerzijde is van deze 'bril'.

Sterk:

- Fysische observaties voldoen aan zodanige eisen, dat zij:
 - + in de onderzoeksgemeenschap gemeenschappelijk beheerd kunnen worden;
 - + met zo groot mogelijke zekerheid als 'feiten' vastgesteld kunnen worden;
 - + bruikbaar zijn voor modelvorming.

Beperkingen:

- objecten die niet aan vaste kenmerken identificeerbaar zijn, zijn niet onderzoekbaar;
- onherhaalbare waarnemingen worden genegeerd;
- waarnemingen die het waargenomen systeem beïnvloeden worden vermeden of 'gerepareerd';
- samenhangen tussen onbeperkte aantallen kenmerken zijn niet onderzoekbaar;
- veranderlijke kenmerken die niet aan uniforme maatstaven meetbaar zijn kunnen niet in acht genomen worden;
- wanneer veranderlijke kenmerken geen onderscheiding in afhankelijke en onafhankelijke variabelen toelaten is onderzoek naar gevolglijkheid onmogelijk.

1.d Concentratie op mechanismen

In § 3 van hoofdstuk 11 (pagina 337 e.v.) werd de modus van gevolglijkheid, waar de fysica zich op concentreert bij haar onderzoek naar mechanismen, nader onder de loep genomen. Daarbij bleek dat deze modus berust op twee fundamentele aannames:

1. *Het enige dat een toestand tot gevolg kan hebben is een volgende toestand, en het enige dat een toestand kan veroorzaken zijn voorafgaande toestanden. Deze aanname werd samengevat als aanname van recursieve gevolglijkheid.*

2. *De toestandsveranderingen van een systeem als geheel kunnen afgeleid worden uit de toestandsveranderingen van de elementaire delen van het systeem. Deze aanname werd samengevat als aanname van synthetische deel-geheel gevolgblijkheid.*

Op grond van deze aannames werd geconcludeerd dat een 'mechanisme' voldoet aan de definitie: *Een mechanisme is een materieel systeem, voor zover het modelvorming toelaat die de twee kenmerken heeft van recursiviteit en synthetische opbouw.*

De twee bovengenoemde aannames fungeren dus ook als restrictieve eisen waaraan (de gevolgblijkheid van) een systeem moet voldoen om voor de fysica als object van onderzoek in aanmerking te komen. Het is gangbaar geworden om de gevolgblijkheid die aan deze eisen voldoet kortweg als 'causaliteit' aan te duiden.

Het motief voor het stellen van deze eisen was de 'newtoniaanse' behoefte om modellen te ontwikkelen van systemen-in-beweging (onafhankelijk van de vraag of die zich op aarde dan wel aan de hemel bevonden), die het mogelijk maken om een logica in de toestandsovergangen van die systemen te herkennen, om zodoende het toestandsoverloop van deze systemen exact te beschrijven, en (door middel van berekening) te kunnen voorspellen.

Opnieuw blijkt dus dat een 'sterke kant' van fysica gepaard gaat aan een restrictie. In dit geval een restrictie tot systemen die aan strenge criteria voor gevolgblijkheid voldoen.

Het voldoen aan het criterium van synthetische deel-geheel gevolgblijkheid bracht de klassieke fysica al vrij snel in moeilijkheden. Het tegemoet komen aan dit criterium bleek al bij meer-dan-twee-lichamen-systemen mathematische problemen op te leveren waar men aanvankelijk geen raad mee wist. Men zag daarin echter geen aanleiding om dit criterium te herzien.

Sterk:

- het gedrag van systemen, die aan de kenmerken van een mechanisme (c.q. invariantie) voldoen, kan via mathematische modelvorming beschreven en voorspeld worden.

Beperkingen:

- systemen waarbij volgende toestanden niet recursief uit voorafgaande toestanden verklaard en berekend kunnen worden, zijn niet onderzoekbaar;
- systemen waarbij toestandsveranderingen van het geheel niet volledig uit toestandsveranderingen van elementaire delen verklaard en berekend kunnen worden, zijn niet onderzoekbaar.

1.e (Zelf)overschatting, verabsolutering, exclusivisme

In § 1 van hoofdstuk 12 (pagina 346 e.v.) werd stil gestaan bij enkele historische gevolgen van de indrukwekkende successen van de newtoniaanse mechanica. In het alge-

meen leidden deze successen ertoe dat de criteria en methoden van deze tak van fysica tot norm verheven werden:

- a. Binnen de fysica werd het hele 'pakket' aan criteria, zowel voor waarnemingen als voor gevolglichheid, normatief voor het onderzoek naar *alle* dynamische systemen, ook buiten het deelgebied van de mechanica. Sindsdien werd fysica de wetenschap die *al* haar in de tijd veranderlijke voorwerpen van onderzoek inperkt tot mechanismen.
- b. Buiten de fysica ging in brede kringen de mening heersen dat de enige betrouwbare kennis, die men van *dé* natuur kan ontwikkelen, kennis van mechanismen is. Door de successen werd men in brede kringen zó verblind, dat men geen oog meer had voor restricties, en de natuur van de natuurkunde identificeerde met *dé* natuur.
- c. Buiten de fysica ging in wetenschappelijke kringen de mening heersen dat *alle* wetenschappelijk kenbare aspecten van de werkelijkheid in essentie het karakter van mechanismen hebben. Zodoende kregen de criteria en methoden van de mechanica in brede kringen de status van normen voor wetenschappelijk onderzoek in het algemeen.

Daarbij kwam dat de 'nieuwe fysica' in haar begintijd ervaren werd als een benadering die strijdig was met de in die tijd heersende traditionele mens- en wereldbeelden. Die strijdigheid riep bij de verdedigers van die traditionele mens- en wereldbeelden verzet op, maar werd bij de vernieuwingsgezinden als ondersteuning ervaren en inspireerde hen tot het formuleren van creatieve en uitdagende alternatieven.

In § 2 van hoofdstuk 12 (pagina 348 e.v.) werd een invloedrijke interpretatie van de nieuwe mechanica door Galileï en Descartes beschreven. Deze interpretatie werd later bekend als de onderscheiding tussen *primaire en secondaire kenmerken*. Kort samengevat kwam deze interpretatie erop neer dat Galileï en Descartes de meetbare kenmerken waarop de fysische mechanica gebaseerd is opvatten als 'zuiver objectieve' weergave van externe werkelijkheid. Daarentegen werden *secondaire kenmerken* opgevat als kenmerken waarbij de innerlijke gewaarwording niet een onvervormde weergave is van de werkelijkheid, maar een 'subjectieve' weergave, die mede bepaald is door de werking van zintuigen en van 'innerlijke' factoren. Meetbare kenmerken, zoals geometrische afmetingen, massa, kracht, en snelheid, behoorden tot de zuiver objectieve *primaire* categorie. Alle andere kenmerken, zoals geur en kleur, werden gerekend tot de *subjectieve* *secondaire* categorie. Door Descartes werd deze onderscheiding geïntegreerd met een christelijke levensbeschouwing door een redenering die erbij uitkwam, dat God het in zijn goedheid aan mensen gunt om via *primaire* observaties de externe werkelijkheid onvervormd te leren kennen. Met andere woorden: te leren zien zoals die in waarheid is, en zoals God die zelf ook ziet.

In § 3 van hoofdstuk 12 (pagina 351 e.v.) werd de invloedrijke 'twee-substantieeler' van Descartes geschetst. Deze 'leer' lag in het verlengde van de hiervoor beschreven opvatting van 'zuivere objectiviteit'. Deze opvatting vooronderstelt dat de natuur van de

natuurwetenschap een eigen zelf-standige bestaanswijze heeft, die geheel los staat van het subject dat de natuur observeert en kennis ontwikkelt. Vertaald in de klassieke term 'substantie' luidt deze vooronderstelling: de objectieve uiterlijke wereld heeft een 'substantieel' karakter. Omdat ruimtelijke uitgebreidheid één van de typerende kenmerken is van alle objecten in de uiterlijke wereld wordt deze door Descartes kortweg aangeduid als '*res extensa*'.

De tegenpool van de substantiële '*res extensa*' was de menselijke geest waarin (naast subjectieve gewaarwordingen, gedachten en gevoelens) de objectieve gewaarwordingen bewust worden en kennis ontwikkeld wordt. Die tegenpool moest een even zelf-standige bestaanswijze hebben als de '*res extensa*', en werd door Descartes kortweg getypeerd als '*res cogitans*'.

Eén van de overtuigende aspecten van deze visie was in die tijd haar moeiteloze verenigbaarheid met de atomistische denkwijze die de fysica van de oude Grieken had geërfd. De aanname, dat alle materiële objecten bestaan uit onvergankelijke elementaire deeltjes, de 'atomen', die in verschillende samenstelling verschillende materialen vormen, werd gezien als een logisch aspect van de substantialiteit van de objectieve wereld. Uit een typerend citaat van Newton blijkt hoe natuurwetenschappers meenden te kunnen begrijpen dat God bij zijn schepping de objectieve wereld logischerwijze alleen substantieel kon maken door haar uit atomen op te bouwen.

Wanneer ik deze ontwikkelingen nu achteraf evalueer (vanuit de optiek die hiervoor is uitgewerkt), dan was het een sterke kant van de 17^e-eeuwse onderzoekers dat zij een wijze van observeren en mathematisch analyseren ontwikkelden die expliciete kennis opleverde van 'mechanismen', ofwel 'invarianties', die in de natuur te vinden zijn. En dat op een wijze die maakte dat deze kennis in een onderzoeksgemeenschap uitgewisseld, opgeslagen, beheerd, uitgebreid en verbeterd kon worden. De technologie, zonder welke de huidige samenleving niet meer kan bestaan, is gebouwd op de kennisbasis waarvan de 17^e-eeuwers het fundament hebben gelegd.

De keerzijde daarvan is het uiteenstellen van 'mens' en 'natuur'. Het terugvallen op klassiek Grieks gedachtengoed versterkte de hoogmoedige opvatting dat de fysisch-mathematische 'blik' verwant zou zijn aan de goddelijk-objectieve blik van de Schepper, en dat met name in dit opzicht de mens 'boven de natuur staat'. Deze opvatting heeft als nadelen opgeleverd dat zij niet alleen reductionisme en minachting voor andere kennis- en werkelijkheidsbenaderingen in de hand werkte, maar ook de instrumentalisering en grenzeloze exploitatie van de natuur rechtvaardigde.

In § 4 van hoofdstuk 12 (pagina 353 e.v.) werd stil gestaan bij het deterministische natuur- en wereldbeeld. Het heersende natuurbeeld van de fysica had tot aan het einde van de 19^e eeuw het karakter van een volledig determinisme. Dit determinisme beruiste op de identificatie van het determinerende karakter van de mathematische modellen van de mechanica met dé natuur. Vanuit deze identificatie gezien zou een geïdealiseerde fysicus "*die alle krachten zou kennen ... alsook de exacte situatie van elk onderdeel van alle materie ... alle bewegingen van de grootste hemellichamen tot het kleinste atoom kunnen*

omvatten ... en zou het verleden net als de toekomst voor hem zichtbaar zijn" (1840, Laplace).

Bij dit determinisme kon bovendien opgemerkt worden dat het staat of valt met het geloof in de mogelijkheid van een volstrekt buitenstandpunt. Wanneer de aanname van een meta-fysische fysicus onhoudbaar is, dan is het volledige determinisme eenvoudig te weerleggen.

Vervolgens werd de contradictie genoemd dat juist de kennis van gedetermineerde aspecten van de natuur leidt tot de ontdekking van *mogelijkheden* om de natuur te manipuleren. De contradictie van een natuur die tegelijk volledig gedetermineerd zou zijn én voor de mens maakbaar kan zijn, werd daarom voor denkers die het determinisme accepteerden een intellectuele uitdaging van formaat.

Tenslotte werd opgemerkt dat het determinisme van fysische modellen niet geïdentificeerd hoeft te worden met volledig determinisme van de fysische natuur, en dat vervolgens het selectieve natuurbeeld van de fysische 'bril' niet geïdentificeerd hoeft te worden met dé natuur.

Sterk:

- in de 17^e eeuw werd de grondslag gelegd voor een vruchtbare onderzoeksbenedering die in staat stelde om vele mechanismen (invarianties) in de natuur te ontdekken.

Interacties met mens- en wereldbeelden:

- deze nieuwe benadering confronteerde traditionele natuur- en wereldbeschouwingen met strijdigheden, en inspireerde zodoende tot vernieuwing;
- in brede kringen leidde de 'nieuwe natuurwetenschap' tot radicale conclusies:
 - + de enige benadering die recht doet aan wat dé natuur in wezen is, is die van de moderne fysica;
 - + de enige benadering die ware kennis over de werkelijkheid kan voortbrengen is de fysische methode, wetenschap kan dus alleen ware wetenschap zijn wanneer zij deze methode navolgt;
 - + de enige categorie van waarnemingen die een waar beeld van de werkelijkheid geven zijn de primaire waarnemingen waar de moderne fysica op gebaseerd is;
 - + het enige wezen dat (van God) het vermogen heeft ontvangen om zich een objectief waar beeld van het universum te vormen (te zien zoals God het ook ziet) is de mens;
 - + het enige wezen dat wel *in* de natuur voorkomt, maar essentieel niet tot de natuur behoort omdat hij, door zijn objectieve blik en mathematisch denken, *boven* de natuur staat is de mens;
 - + de enige objectief-ware samenhangen, die het verloop van alle processen in de natuur bepalen, zijn geformuleerd in de wetten van de fysica; in wezen

zijn het verleden en de toekomst van al die processen volledig gedetermineerd door de onveranderlijke elementaire deeltjes waaruit alles bestaat en de onveranderlijke wetten die volkomen bepalen hoe configuraties van die deeltjes zich ontwikkelen.

1.f Acceptatie van toeval

In § 5 van hoofdstuk 12 (pagina 355 e.v.) werd een revolutie van de fysica beschreven die nog gebaseerd was op de klassieke fysica. Een revolutie, die de fysische gemeenschap al dwong om fundamenteel toeval te accepteren, nog afgezien van de argumenten die de kwantumfysica daar later voor aandroeg. Deze 'eerste toevalsrevolutie' werd veroorzaakt door de ontdekking van de rol van toeval in 'chaotische systemen'.

Chaotische systemen zijn fysische systemen die opgebouwd zijn uit deelsystemen waarvan het gedrag volkomen gedetermineerd is door de wetten van de klassieke fysica. Het bijzondere karakter van deze systemen houdt in, dat de synthese van 'deterministische' deelsystemen een geheel kan opleveren waarvan toekomstige toestanden toch niet eenduidig voorspeld kunnen worden. De oorzaak daarvan is, dat de synthese een geheel-systeem kan opleveren met 'gevoelige afhankelijkheid'. Gevoelige afhankelijkheid betekent dat het geheel-systeem toestanden kent die (volgens het wiskundige model) volkomen labiel zijn. Precies bij een volkomen labiele toestand zijn vervolgt toestanden, ook mathematisch gezien, onvoorspelbaar. Bij, of dichtbij, een volkomen labiele toestand kan een kleine, tot oneindig klein naderende, verstoring of onregelmatigheid van grote invloed zijn op het verdere toestandsverloop. Edward Lorenz beschreef dit met het beroemde voorbeeld van de vleugelslag van een vlinder in Argentinië, die drie weken later een tornado in Texas tot gevolg kan hebben. Een bijkomend probleem, waardoor deze onvoorspelbaarheid nooit geheel gerepareerd kan worden, is de onophelbare begrensdheid van de nauwkeurigheid van fysische observatie.

Fysici hadden echter veel moeite om te accepteren dat 'toeval' in het vervolg een onvermijdelijk aspect zou zijn van hun natuurbeeld. Een belangrijke reden voor die moeite lag in de consequentie voor het tijdsconcept. Het volledig deterministische natuurbeeld impliceerde een concept van tijd waarbij de toestanden van een systeem evengoed van verleden naar toekomst *geprediceerd* kunnen worden, als van heden naar verleden *gepostdiced* kunnen worden. Maxwell vergeleek dit tijdsconcept met een eenduidige 'film' die net zo goed vooruitgespoeld als teruggespoeld kan worden. Aan het voorbeeld van weersvoorspellingen kon echter toegelicht worden dat de acceptatie van toeval een streep haalt door dit natuurbeeld. Wanneer het principiële niet te voorspellen is hoe hoog bijvoorbeeld de temperatuur op een toekomstige datum zal worden, dan impliceert dit dat de volledige toekomst niet meer besloten ligt in de kennis die we in het heden van een chaotisch systeem kunnen vormen. Wat de 'film' in de toekomst te zien zal geven moet voor een deel worden afgewacht. En, omdat het heden kenmerken heeft die niet in het verleden kenbaar waren kan de film ook niet worden teruggespoeld.

Het accepteren van toeval impliceert het toegeven van onwetendheid. Het werkelijke fysische proces genereert in de toekomst kenmerken die in het heden niet bekend zijn en ook niet bekend *kunnen* zijn. In wezen kan dus ook de natuurlijke geschiedenis van chaotische systemen, net als de mensengeschiedenis, nooit exact herhaald worden. De acceptatie van toeval leidde in zekere zin tot de acceptatie van '*natuurlijke historie*'.

Hoewel strikt genomen niet bewezen kan worden dat de acceptatie van toeval voor altijd noodzakelijk is, is –zeker nadat het kwantumtoeval er nog bij kwam– de terugkeer van een volledig deterministische fysica zeer onwaarschijnlijk.

De acceptatie van toeval leidde dus tot een ingrijpende verandering van het globale natuurbeeld. Het 'geloof' in een natuur die uit volledig gedetermineerde processen bestaat maakte plaats voor het 'geloof' dat het verloop van processen in de natuur niet altijd precies vastligt, maar ook van toeval afhankelijk kan zijn. Of, in termen van causaliteit: het geloof dat er altijd een één-op-één relatie bestaat tussen oorzaak en gevolg maakte plaats voor het geloof dat één-op-één causaliteit een bijzonder geval is van één-op-meer relaties tussen oorzaken en gevolgen. Een bijzonder geval dat zich onder bijzondere condities voordoet.

De moeilijkheid van het loslaten van een oud natuurbeeld en het accepteren van een nieuw natuurbeeld kan vergeleken worden met een 'bekering'. De reden daarvoor is, dat mensen die zich vertrouwd gemaakt hebben met een bepaalde zienswijze, op den duur steeds meer op die 'bril' gaan vertrouwen bij het begrijpen en hanteren van vele aspecten van hun werk, en van hun leven. Zij raken persoonlijk 'vergroeid' met die 'bril' en kunnen daar moeilijk afstand van doen. Dit geldt bij een revolutie in de fysica in eerste instantie voor de betrokken fysici, maar later ook voor de buitenwacht. Na enige tijd van gewenning herhaalt het proces zich en wordt de nieuwe 'bril' weer even diep vertrouwd als de oude, en is het 'oude geloof' ingeruild voor een 'nieuw geloof'. In onze huidige cultuur merken we dit aan het gemak waarin vele voorspellingen in termen van kansen gegeven worden, en door het publiek als vanzelfsprekend geaccepteerd worden.

Ondertussen heeft de fysica ook beslist niet *alle* voorspelbaarheid opgegeven. De tak van wiskunde die men op toevalsprocessen toepast heet niet voor niets *kansrekening*. Ook kenmerken van toevalsprocessen kunnen nog steeds door middel van de logica van een wiskundig model afgeleid en voorspeld worden.

Bij de voorspelling van kans-aspecten worden nog steeds de oude uitgangspunten van mechanistische causaliteit gehanteerd:

- *recursieve gevolgbijheid in de tijd, en*
- *synthetische deel-geheel gevolgbijheid.*

Om die reden kan de revolutie in het natuurbeeld, die het gevolg is van de acceptatie van toeval, getypeerd worden als de overgang van volledig determinisme naar *kans-determinisme*.

Sterk:

- fysica blijkt in staat om, onder invloed van eigen onderzoek en experimenten, overschatte kennispretenties op te geven;
- fysica realiseert een belangrijke uitbreiding van haar onderzoeksdomein, door voortaan toevalsprocessen ook daartoe te rekenen;
- door vast te houden aan continuïteit in uitgangspunten, handhaaft fysica ook de kracht van haar benadering.

Beperkingen:

- de voorheen algemeen geldig geachte deterministische één-op-één causaliteit blijkt beperkt te zijn tot eenvoudige systemen; systemen die uit deterministische deelsystemen zijn samengesteld kunnen configuraties hebben waarvoor één-op-één causaliteit niet opgaat;
- de kennis die de fysica van het verloop van 'chaotische systemen' kan vormen is beperkt tot kennisvorming van kansen; de voorspelbaarheid van deze systemen is dus ook beperkt tot voorspellingen in termen van kansen;
- de 'film' van de fysische tijd kan niet teruggespoeld worden; ook 'natuurlijke historie' is als geheel genomen onherhaalbaar.

1.g Blijvend geloof

In § 6 van hoofdstuk 12 (pagina 369 e.v.) werden de gevolgen voor mens- en wereldbeeld geschetst die de toevalsrevolutie overleefden. Gevolgen die nog gebaseerd waren op de newtoniaanse mechanica, én gebaseerd waren op de gelijkstelling van de natuur van de fysica met dé natuur. Een identificatie die, zoals beschreven in § 2 en § 3, gepropageerd werd door vooraanstaande fysici en natuurfilosofen, zoals Galileï, Descartes en Newton, en die extra overtuigingskracht ontleende aan het teruggrijpen op denkers uit de Grieks-klassieke oudheid, die mathematisch-fysische kennis op een hoog voetstuk hadden gezet. Daardoor werd in brede kringen geloof gehecht aan deze identificatie. De kern van dit 'geloof' kan in drie stellingen worden samengevat:

1. Alles wat in de natuur gebeurt kan verklaard worden als een mechanisme. Dat wil zeggen: de enige gevolgtrekkingen die het verloop van processen in de natuur bepalen zijn recursieve gevolgtrekkingen en synthetische deel-geheel gevolgtrekkingen.
2. Een menselijke waarnemer kan natuurlijke fenomenen zuiver objectief observeren en meten, wanneer hij zich in zijn waarneming beperkt tot de primaire kenmerken van objecten en hun omgeving, en zich in zijn denken beperkt tot zuiver logisch denken. Zodoende kan een onderzoeker zich van elke betrokkenheid bij zijn object los maken en ten opzichte daarvan een zuiver buitenstandpunt innemen. Zodoende kan een natuur-onderzoeker zuiver objectieve kennis van de natuur ontwikkelen. Kennis die ook, omdat zij zuiver objectief is, uitwisselbaar en accumuleerbaar is in de fysische onderzoeksgemeenschap.

3. De essentie van de natuur is, dat zij bestaat uit onveranderlijke elementaire deeltjes die door onveranderlijke krachten bewogen worden. Alle processen en veranderingen in de natuur zijn te verklaren als veranderlijke configuraties van deze onveranderlijke elementen. Vanwege het essentieel stabiele karakter van de natuur kunnen wij mensen stabiele en accumuleerbare kennis van de natuur ontwikkelen, en benoemen wij mechanismen niet voor niets ook wel als 'invarianties'.

In § 6.b van hoofdstuk 12 werd vervolgens één cruciale consequentie voor mens- en wereldbeeld beschreven die uit dit geloof volgde:

- *Vormen van finaliteit, functionaliteit en betekenis komen niet voor in de natuur, zoals die zuiver objectief op-zichzelf bestaat.*

Uit deze cruciale consequentie volgde daarna:

- a. Dat biologen het, voor hun begrip van levende systemen niet kunnen stellen zonder verklaringen in termen van functionaliteit, vraagt om een nadere verklaring. Aanvankelijk had die nadere verklaring een deïstisch karakter. Men verklaarde die functionaliteit vanuit de aanname dat een goddelijke Schepper de levende wezens vanuit bepaalde bedoelingen ontworpen had. Zoals de functionaliteit van een klok verwijst naar bedoelingen van een klokkenmaker, zo verwijst de functionaliteit van levende wezens naar de Schepper. Met andere woorden: levende wezens zijn essentieel vergelijkbaar met door mensen ontworpen, automatisch werkende, machines. Het 'dogma', dat het gedrag van dieren (in onderscheid van menselijk gedrag) uitsluitend door automatisch werkende instincten wordt gestuurd, is een logische consequentie van dit geloof.

Vanaf eind 19^e eeuw kwam voor velen het geloof in de evolutie in de plaats van het deïstische geloof. De nieuwe aanname hield in dat het mechanisme van het evolutieproces, gecombineerd met toevalsfactoren, levende organismen voortbrengt met een automatische werking die vergelijkbaar is met de werking van machines. Iedere biologische functionaliteit moet sindsdien uit 'evolutionaire nuttigheid' verklaard kunnen worden. De oude 'machinemetafoor' werd zodoende niet verlaten, maar alleen van een nieuwe verklaring voorzien.

- b. Dat mensen enerzijds deel uitmaken van de functieloze en betekenisloze natuur, maar dat anderzijds hun onderlinge taal-leven en hun innerlijk leven essentieel van functionaliteit, finaliteit, behoeften, betekenissen, waarden, et cetera aan elkaar hangt, vraagt ook om nadere verklaring. Eén of andere vorm van een dualistische 'twee-substantieeler' of 'twee-naturenleer' lijkt dan de enige oplossing.

Vervolgens werd betoogd dat ook de opkomst van technologie heeft bijgedragen aan dualistische visies op mens-zijn. Door mensen gemaakte machines zijn immers door mensen bedachte mechanismen, en daarom passen machines naadloos in het mechanistische natuurbeeld. Dat machines en andere artefacten anderzijds alleen goed begrepen kunnen worden als functionele systemen verwijst dan naar behoef-

ten, belangen en bedoelingen van menselijke actoren, die niet alleen burger zijn van de natuurlijke wereld maar ook nog van een andere, 'geestelijke', wereld.

Interacties met mens- en wereldbeelden:

- Identificatie van dé natuur met het natuurbeeld van fysische wetenschappen leidde in brede kringen tot de volgende consequenties:
 - + omdat de causaliteit van mechanismen de enige gevolgblijkheid is die in de natuur voorkomt, kunnen vormen van finaliteit, functionaliteit en betekenis niet voorkomen in de natuur, zoals die zuiver objectief bestaat;
 - + de enig mogelijke verklaringsgrond voor het ontstaan en bestaan van functionele kenmerken van levende wezens is 'evolutionaire nuttigheid';
 - + de enig mogelijke verklaring van de functionele kenmerken van dierlijk gedrag is dat zij onbewust gedreven worden door evolutionair ingebouwde 'instincten';
 - + de enig mogelijke verklaring, voor de functionaliteit, finaliteit, behoeften, waarden, en betekenissen waar het menselijke leven van doordrenkt is, is dat mensen in essentie buiten en boven de natuur staan;
 - + vanuit de cultuur kan de natuur alleen gezien worden als een vijandige 'wildernis', die ongelimiteerd overheerst en geëxploiteerd mag worden.

1.h Abstracte objectiviteit

In § 1 van hoofdstuk 13 (pagina 384 e.v.) kwam de relativiteitstheorie aan bod. Eén van de belangrijkste aspecten van de revolutie, die deze theorie in het natuurbeeld van de fysica teweegbracht, kan toegelicht worden aan het beroemde citaat van Laplace (pagina 353). Laplace formuleert in zijn beeld van de kosmos de oude aanname dat die kosmos in principe door een geïdealiseerde 'Intelligentie' vanuit een buitenstandpunt objectief geobserveerd zou kunnen worden. Een dergelijke Intelligentie zou vanuit dat standpunt in principe precies moeten kunnen vaststellen welke waarden de posities, snelheden en afmetingen van elk onderdeel van die kosmos op één moment in de tijd zouden hebben. Volgens Laplace zou die Intelligentie dan vanuit die ene 'momentopname' de hele toekomst en het hele verleden van de kosmos kunnen uitrekenen. Zoals in het voorafgaande is samengevat haalde de noodzaak van het accepteren van toeval, zelfs al vanuit de klassieke fysica, een streep door de eenduidige berekenbaarheid van verleden en toekomst, en kwam de berekenbaarheid van kansen en kansverdelingen daarvoor in de plaats.

De relativiteitstheorie van Einstein gaat nog een stap verder. Einstein karakteriseerde voor het eerst de aannames van dit klassieke natuurbeeld als aannames, en vroeg zich af of die aannames wel volgehouden konden worden in het licht van recente ontdekkingen over kenmerken van elektromagnetische golfverschijnselen. Zoals beschreven gebruikte hij (in 1905!) een fantasie over ruimtereizigers, die tijden en afstanden zouden willen meten, om de houdbaarheid van de oude aannames te toetsen. Uit dit gedachtenexperi-

ment leidde hij af dat dergelijke ruimtereizigers op basis van het natuurbeeld van Laplace (en Newton) geen betrouwbare basis voor afstand- en tijdmeting zouden kunnen vinden, en dat zij er beter aan zouden doen om de oude aannames in te ruilen voor een andere grondslag: het postulaat van de absolute waarde van de voortplantingssnelheid van e-m golven in de lege ruimte.

Het funderen van de fysica op deze nieuwe aanname haalde een streep door de hele voorstelling van Laplace. Volgens de relativistische fysica zijn metingen van vele kenmerken zoals gelijktijdigheid en tijdsintervallen, afstanden en massa's, afhankelijk van de snelheden en afstanden die observatoren ten opzichte van objecten en gebeurtenissen hebben. Vanuit Einsteins en Minkovski's later ontwikkelde concept van de vierdimensionale 'ruimtetijd' kan duidelijk gemaakt worden dat eenduidige bepalingen van al die kenmerken eigenlijk alleen uitgevoerd kunnen worden door een observator (of RuimteTijdrecorder) die met de geobserveerde gebeurtenissen en objecten meereist. De ideale observator is dus niet langer de Intelligentie van Laplace die een absoluut buitenstandpunt inneemt, maar de meereizende observator die de relativiteit van zijn 'binnenstandpunt' voor lief neemt.

Een ander klassiek idee dat in Einsteins relativiteitstheorie sneuvelde was de onvergankelijkheid van materie (de 'atomen'). Eén van de consequenties van zijn theorie was, dat massa en energie gelijkwaardig zijn en in elkaar kunnen overgaan volgens $E=mc^2$. De mogelijkheid dat materie verloren kan gaan omdat het omgezet wordt in energie, en de mogelijkheid dat materie uit energie 'gecreëerd' kan worden, waren logische consequenties van deze gelijkwaardigheid. Deze consequenties werden, naast alle andere consequenties, in de loop van de tijd experimenteel bevestigd.

In vervolg op de speciale relativiteitstheorie, die de fysica onafhankelijk maakte van de *snelheid* van observatoren ten opzichte van een willekeurig referentie-systeem, ontwikkelde Einstein de algemene relativiteitstheorie, om de fysica ook onafhankelijk te maken van de *versnelling* van observatoren ten opzichte van een willekeurig referentie-systeem. Ook deze algemene relativiteitstheorie had revolutionaire consequenties voor het natuurbeeld. Tot die consequenties behoorde een nieuwe benadering van massa en zwaartekracht. De nieuwe meetkunde van de 'ruimtetijd' stelde hem in staat om 'versnellingskracht' of 'zwaartekracht' op te vatten als een kenmerk van de vierdimensionale ruimtetijd. Hij hoefde zodoende niet langer aan te nemen dat massa's elkaar 'op afstand' aantrekken. De versnelling, die bepaalt hoe een voorwerp naar de aarde valt, of hoe een planeet om de zon draait, wordt sindsdien niet meer begrepen als gevolg van 'aantrekkingskracht-op-afstand', maar als gevolg van plaatselijke 'kromming' van ruimtetijd als gevolg van de aanwezigheid van massa's, die als het ware een 'kuil' in de ruimtetijd veroorzaken. Bovendien loste Einstein met deze theorie een oud probleem op van de klassieke mechanica. Daarin kon 'massa', ook al is het één kenmerk van materie, toch op twee verschillende manieren gedefinieerd worden (als 'zware massa' of als 'traagheids-massa'). Einsteins theorie maakte eindelijk duidelijk waarom die twee verschillende klassieke definities toch op hetzelfde neerkomen.

Bij de onvoorstelbare 'vierdimensionale ruimtetijd met krommingen' moet opgemerkt worden dat Einstein allereerst zocht naar syntactisch-wiskundige oplossingen voor de fysische puzzels van zijn tijd, zonder zich te bekommeren om aanschouwelijkheid. Het 'hart' van de relativiteitstheorie is een formele calculus die in staat stelt om toestanden van systemen nauwkeurig uit te rekenen, en voorspellingen te doen die getoetst kunnen worden. Bij die calculus ontstaat een meta-taal die het mogelijk maakt om *over* die calculus te spreken en te denken. Een uitspraak zoals "de ruimtetijd is gekromd" moet daarom vergeleken worden met de uitspraak van een schaker die zegt: "dit stuk is een paard".

In § 1.e van hoofdstuk 13 werden enkele gevolgen van de relativiteitstheorie voor het natuurbeeld van de fysica besproken. Eén van die gevolgen is de vraag, of het klassieke objectiviteitsconcept nog wel zin heeft, nu een observator die een ruimte-tijdelijk buitenstandpunt inneemt principieel onmogelijk blijkt. In verband met deze vraag werd het antwoord van Bertrand Russell besproken. Deze stelt dat de onaanschouwelijkheid van de relativiteitstheorie voortkomt uit het gegeven dat deze theorie menselijke kennis uitbreidt naar gebieden, die voor mensen als zintuiglijk-lichamelijke 'aarde wezens' onbereikbaar zijn. De werkelijkheden die in de calculus van de relativiteitstheorie beschreven worden kunnen we ons daarom niet *concreet* voorstellen. We kunnen die alleen *abstract* voorstellen via een mathematisch formalisme. Russell vergelijkt deze positie met die van een dove, die wel het abstracte notenschrift van een muziekstuk kan lezen, maar de concrete muziek niet kan horen. Het antwoord van Russell op de vraag aan het begin van deze alinea houdt nu in, dat de relativistische fysica het klassieke objectiviteitsconcept niet hoeft op te geven, maar alleen anders moet interpreteren. Het *concrete* beeld van een natuur die in principe van buitenaf observeerbaar zou zijn moet verlaten worden. Maar, in plaats daarvan kan er nog steeds van uitgegaan worden dat de mathematische structuren die de fysica ontdekt *in abstracto* een 'externe' beschrijving geven van de natuur, zoals die onafhankelijk van welk standpunt ook, of van welke soort van observator of observatie ook, op-zich en zuiver objectief bestaat. Volgens Russell is er dus een *objectief residu*, dat belichaamd is in het formalisme van de relativistische fysica.

Naast het voorgaande moet nog één ingrijpende consequentie voor het fysische natuurbeeld genoemd worden. In de klassieke fysica was de vraag, of er ook een minimale hoeveelheid *tijd* gemoeid zou kunnen zijn met de overgang van oorzaak naar gevolg, niet aan de orde. Volgens de relativiteitstheorie kunnen echter de gevolgen van een oorzaak zich niet sneller in de ruimtetijd uitbreiden dan met de lichtsnelheid. Zoals in de hier samengevatte paragraaf toegelicht werd (pagina's 390-392 en 396-397), heeft dit als consequentie dat er alleen causale relaties kunnen bestaan tussen oorzaken en gevolgen die in één RuimteTijd-geschiedenis verenigd kunnen worden. In negatieve zin impliceert dit, dat er in de natuur oneindig veel gebeurtenissen zijn, tussen welke geen enkel causaal verband kan bestaan.

Op pagina 404 kon op grond van het vooraangaande geconcludeerd worden dat de relativistische fysica trouw bleef aan de klassieke uitgangspunten voor observatie, objec-

tiviteit, modelvorming en causaliteit, ondanks ingrijpende veranderingen van het fysische natuurbeeld dat de context vormt waarbinnen deze uitgangspunten gelden.

Tenslotte werd in de conclusies van § 1.e stilgestaan bij het vermoeden dat Russells interpretatie leidt tot continuering van het oude dualisme. Omdat Russell vasthoudt aan het klassieke objectiviteitsconcept, en dit ophangt aan het mathematische karakter van fysische modellen, blijft de stelling gehandhaafd dat dé natuur (in absolute zin) in essentie uit mathematisch formuleerbare mechanismen (c.q. invarianties) bestaat. Maar, zoals we zagen, blijft daarmee dan ook de stelling gehandhaafd dat in dé natuur finaliteit, functionaliteit, en betekenis, niet kunnen voorkomen. Volgens het oude stramien blijft daarom de mens, ook volgens Russells visie, in essentiële opzichten buiten de natuur vallen:

1. Omdat de mens (geheel volgens Griekse traditie) met zijn natuur-externe mathematische 'geestesoog' essentiële structuren van de zuiver objectieve' natuur kan zien (het 'objectieve residu').
2. Omdat mensen, zoals Russell formuleert, "*are capable of happiness and misery, desire and aversion*", ofwel ook burgers zijn van een betekenisvolle belevingswerkelijkheid die radicaal verschilt van de natuur.

Vanwege deze tweede reden acht Russell het zeer gevaarlijk wanneer de voor de natuur adequate gewoonte, om zaken te manipuleren op basis van mathematische wetten, wordt overgedragen op de omgang met mensen.

Sterk:

- fysica blijkt opnieuw in staat om, onder invloed van eigen onderzoek en experimenten, een vertrouwd en vanzelfsprekend geacht natuurbeeld ingrijpend te herzien,;
- fysica blijkt in staat om, met behulp van formeel-wiskundige theorieën, in de natuur mechanismen (invarianties) te ontdekken, op terreinen die ver buiten de zintuiglijke waarnemings- en voorstellingsvermogens van mensen liggen;
- fysica blijkt in staat om modellen te ontwikkelen die in hoge mate onafhankelijk zijn van gekozen referentie-systemen;
- fysica blijkt in staat een relatie te ontdekken tussen de tot dan toe gescheiden concepten van 'energie' en 'massa';
- fysica blijkt in staat een oud dualisme in de benadering van massa als 'traagheidsmassa' of 'zware massa' op te heffen;
- door vast te houden aan continuïteit in methodische uitgangspunten, handhaaft fysica ook de kracht van haar benadering.

Beperkingen:

- vele observaties zijn afhankelijk van het gehanteerde referentie-systeem; de 'objectieve' kennis die relatieve observaties kan verklaren, voorspellen en verbinderen.

den is beperkt tot het 'abstracte residu' dat in mathematische modellen is vastgelegd;

- causaliteit is beperkt tot ketens van oorzaken en gevolgen die in één RT-geschiedenis verenigd kunnen worden;
- de geldigheid van de klassieke wetten van 'massa-behoud' en 'energie-behoud' is beperkt tot bijzondere condities; in principe kunnen massa en energie in elkaar overgaan.

Interacties met mens- en wereldbeelden:

- De interpretatie van de relativiteitstheorie door Bertrand Russell maakt duidelijk dat deze theorie de aanhangers van het klassieke objectiviteitsconcept (fysica onderzoekt natuur an-sich) niet noodzaakt om dit concept op te geven;
 - + het 'objectieve residu' van de relativistische fysica moet dan wel beperkt geacht worden tot de wiskunde van fysische modellen;
 - + in de objectieve natuur kan de mens als 'betekenis- en belevingswezen' (inclusief de fysicus) nog steeds niet voorkomen, en daarom is de natuurwetenschappelijke benadering niet toepasbaar op veel menselijke zaken.

1.i Relatieve objectiviteit

In § 2 van hoofdstuk 13 (pagina 408 e.v.) werd de kwantummechanica behandeld. Ook deze nieuwe tak van fysica berustte op ontdekkingen die een ingrijpende verandering van het fysische natuurbeeld afdwongen. De verandering die afgedwongen werd kan samengevat worden als de acceptatie van het principe van complementariteit, met al zijn consequenties.

Het eerste gebied waarop die acceptatie werd afgedwongen was de theorie van elektromagnetische straling. Over de vraag naar de 'ware aard' van het licht (als representant van alle 'straling') was eeuwenlang gestreden als een of-of kwestie. Licht moest begrepen worden als golfverschijnsel, te beschrijven met modellen uit de golfmechanica, óf begrepen worden als deeltjes-verschijnsel, te beschrijven met modellen uit de deeltjes-mechanica. Uiteindelijk bleek dat dit strijdpunt niet als een of-of kwestie maar als een en-en kwestie gezien moest worden. Pogingen om zich voor te stellen hoe deze strijdige uitkomsten toch verenigbaar zouden kunnen zijn leidden tot grote moeilijkheden.

Eén van de vele voorbeelden, die van die moeilijke voorstelbaarheid gegeven kunnen worden, was het experiment van Taylor (pagina 426). Daarbij werd een lichtstraal gebruikt die zó zwak was dat de licht-kwanta, ofwel fotonen, één voor één werden uitgezonden. Die lichtstraal viel op een scherm met twee spleten x en y . De vraag was, of de licht-pakketjes zodanig samenhangen dat zij in hun geheel door één spleet moeten passeren (als zij passeren), of toch niet. De experimenten van Taylor tonen echter aan dat het antwoord op de vraag naar de weg van de fotonen afhankelijk is van de soort van

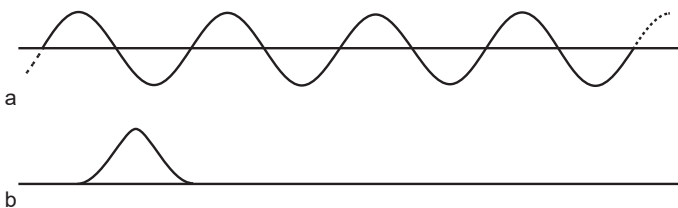
observatie die *na afloop* van die weg wordt toegepast! Op de vraag, welke weg de fotonen of kwanta *objectief* gegaan zijn, onafhankelijk van het 'of' en 'hoe' van observatie, kan geen antwoord gegeven worden.

Dit voorbeeld illustreert het principe van complementariteit, waarmee het kwantumonderzoek voortdurend geconfronteerd wordt: *afhankelijk van de inrichting van de observatie, die erop ingericht is om hetzij stralingskenmerken hetzij deeltjeskenmerken te observeren, verkrijgt men uitkomsten die uitsluitend met stralingsmodellen of uitsluitend met deeltjesmodellen verklaarbaar zijn*. Complementariteit van observatie bleek steeds te corresponderen met complementariteit van model- c.q. beeldvorming. Ofwel: de subjectieve keuze van de experimentator voor één van de twee complementaire vormen van observatie correspondeert één op één met de complementaire aard van het resulterende beeld. Het lijkt erop dat objectieve beeldvorming op dit gebied onhaalbaar is.

Complementariteit kwam vervolgens ook aan het licht bij onderzoek naar materiedeeltjes. Als eerste bij onderzoek naar elektronen. Elektronen werden aanvankelijk als uiterst kleine materiedeeltjes opgevat. Eerste experimenten bevestigden dat beeld enerzijds, maar leidden anderzijds ook tot onbegrijpelijke uitkomsten (pagina 410 e.v.). Geïnspireerd door het vermoeden van De Broglie, dat deeltjes zoals elektronen onder bepaalde condities wellicht ook als golfverschijnsel verklaard konden worden, stelde Schrödinger golfvergelijkingen op voor elektronen. Deze golfvergelijkingen bleken vervolgens de kenmerken van elektronen, die met straling in verband stonden, nauwkeurig te kunnen verklaren. Met andere woorden: het hierboven geformuleerde principe van complementariteit bleek ook voor elektronen te gelden. Latere experimenten met allerlei andere 'materiële' deeltjes, zoals neutronen, protonen, en zelfs hele atomen en moleculen, bevestigden de geldigheid van complementariteit voor al deze deeltjes. Het gevolg is, dat we ons niet meer kunnen voorstellen waar we mee te maken hebben wanneer de materiële deeltjes, waarvan we zeker dachten te weten dat zij de elementaire bouwstenen waren van zicht- en tastbare materie, bij een anders ingerichte observatie trillingen (b)lijken te zijn in één of ander onbekend 'veld'.

Het principe van complementariteit bleek zodoende voor kwantum-systemen algemeen geldig te zijn, ongeacht de vraag of zij oorspronkelijk als 'straling' of als 'materie' werden opgevat.

Figuur 35



Heisenberg vond in 1927 een verklaring voor het principe van complementariteit, en vond bovendien een toetsbare mathematische formulering, die sindsdien alleen maar

bevestigd is. Volgens zijn verklaring is complementariteit te begrijpen vanuit het probleem om bij een trillingsverschijnsel hetzij de frequentie (toonhoogte), hetzij de momentane plaats van een golftop, precies te kunnen bepalen. De frequentie representeert de kenmerken van het golf/deeltje-object die men alleen precies via de golf-benadering kan observeren; de positie van de golftop representeert de kenmerken van het golf/deeltje-object die men alleen precies via de deeltjes-benadering kan observeren. De verklaring luidt dat een precieze bepaling van de frequentie (toonhoogte) alleen mogelijk is door de trilling een tijdlang te observeren (aanhoren), en dat de plaats van één golftop dan onzeker is; en omgekeerd, dat een precieze bepaling van de momentane plaats van één golftop alleen mogelijk is door op één kort moment te observeren en dat de frequentie van de trilling dan onzeker is.

Voor de relatie tussen de onzekerheden van de ene of de andere benadering vond Heisenberg de bekende formule (Figuur 36). Met deze formule (de 'onzekerheidsrelatie') werd een eerste verband geformuleerd tussen de complementaire 'werkelijkheden'. Een tweede verband werd gevonden door Born. Hij ontdekte dat een lokale waarde die uit *golf*vergelijkingen is af te leiden overeenkomt met de *kans* om op die plaats een *deeltje* te detecteren, wanneer men van golf-observatie overgaat naar deeltjesobservatie.

Figuur 36

$$\Delta x \times \Delta p \approx h$$

Zowel de onzekerheidsrelatie van Heisenberg als de ontdekking van Born impliceerden de acceptatie van toeval en kansrekening binnen de kwantummechanica. Het is van belang om zich daarbij te realiseren dat kwantumtoeval een ander karakter heeft dan het toeval dat bij chaotische systemen aan de orde is. Een belangrijk verschil is, dat de uitwerking van toeval bij chaotische systemen niet aan de (deterministische) elementaire deelsystemen toegeschreven kan worden. Bij deze systemen wordt daarom de werking van toeval in essentie toegeschreven aan de *omgeving* van het systeem, als een vorm van omgevingsruis (thermische ruis, elektromagnetische ruis, en dergelijke). Het is de gevoelige afhankelijkheid van deze systemen die maakt dat hun gedrag, bij een labiele toestand, op onvoorspelbare wijze door omgevingsruis wordt bepaald. Daarentegen vertonen kwantumsystemen toevalsgedrag dat juist *wel* in essentie aan hun elementaire deelsystemen toegeschreven moet worden, en dat juist in hoge mate *ongevoelig* is voor omgevingsinvloeden. Kwantumtoeval kan daarom resulteren in bijzonder stabiele kansverdelingen.

De noodzaak om toeval te accepteren op het gebied van de kwantumfysica heeft in de eerste helft van de 20^e eeuw de acceptatie van chaotisch toeval bevorderd, en omgekeerd.

Het weerbarstige fenomeen van complementariteit, met al zijn consequenties, vraagt om interpretatie.

In deze studie wordt aangesloten bij de 'Kopenhaagse interpretatie' (§ 2.d). Deze interpretatie berust in hoofdzaak op twee conclusies:

1. Complementariteit impliceert dat er op het microniveau van kwantumsystemen geen objectief beeld te geven is. In de termen van de 'kaartenmetafoor' (pagina 472 e.v.): het is alsof men bij dit landschap twee geheel verschillende kaarten nodig heeft, al naar gelang de manier van kijken. Ondanks het feit dat het aannemelijk is dat er achter de golfmodellen en deeltjesmodellen één werkelijkheid schuil gaat, is het voor fysici onmogelijk om zich één samenhangend beeld van die werkelijkheid te vormen dat onafhankelijk is van de observatiemethode.
2. Op het macroniveau van het zicht- en tastbare fysische experiment blijft echter alles bij het oude. De modellen van de kwantummechanica voorspellen op macroniveau observaties die experimenterende fysici aan zicht- en tastbare instrumenten kunnen aflezen. Het 'taalspel', of 'kaartspel', met de twee onverenigbare kaarten resulteert als geheel wél in nauwkeurige correspondentie met macro-fysische observaties. Op dat niveau voldoen deze observaties aan alle traditionele criteria voor objectiviteit.

Een vergelijking met de relativiteitstheorie wordt vaak gebruikt als toelichting op deze conclusies. Net als bij de relativiteitstheorie exploreren de onderzoekers in de kwantummechanica een terrein dat buiten bereik van menselijke zintuiglijkheid ligt. Daarom gaat die werkelijkheid ons, op zintuiglijke concepten gebaseerde, voorstellingsvermogen te boven. Het enige dat onderzoekers in handen hebben is een formeel spel met berekeningen die op het niveau van herhaalbare experimenten blijken te kloppen. We moeten de taal die dit formele spel begeleidt daarom ook zuiver formeel opvatten. Wanneer we termen gebruiken zoals 'deeltje', 'massa', 'golf' of 'energie' dan moeten we die termen niet associëren met de gebruikelijke betekenissen, maar alleen met de operationele regels van het 'rekenspel' van de kwantummechanica.

De Kopenhaagse interpretatie impliceert een poging om, naar aanleiding van de kwantummechanica, beperkingen van fysische kennis onder ogen te zien. In vervolg op de hierboven weergegeven interpretaties werden later door andere fysici aanvullende vermoedens van de beperkingen van fysische kennis geformuleerd.

Als eerste voorbeeld van deze fysici werd Wigner genoemd. Wigner constateerde dat de kennis, die het tweespan van fysica en wiskunde kan opleveren, beperkt is tot kennis van *invarianties*. Dat wil zeggen: dat die kennis beperkt is tot die samenhangen in de natuur waarbij een klein aantal relevante kenmerken een proces geheel bepalen, en waarbij die relevante factoren bovendien bekend zijn. De aanname, dat we met de kennis van invarianties uitputtende kennis over de natuur ontwikkelen, is zelf niet op kennis gebaseerd. Het vermoeden dat invarianties uitzonderlijke samenhangen zijn, en dat fysische kennis slechts een klein deel vertegenwoordigt van de natuurkennis die in principe mogelijk is, lijkt Wigner veel aannemelijker dan de klassieke aanname.

Als tweede voorbeeld van verder denken over beperkingen van fysische kennis werden de opvattingen van Sizoo behandeld (§ 2.e). Zijn opvattingen berustten op een kritische reflectie op de klassieke opvatting van 'zuivere objectiviteit'. Sizoo pleitte in 1940 voor

het opgeven van deze opvatting. De argumenten die hij hiervoor aanvoerde kunnen als volgt samengevat worden:

1. Ook al blijkt wiskunde een wonderlijk adequaat hulpmiddel te zijn om fysische invarianties te beschrijven, dan wil dat nog niet zeggen dat dé natuur daarom in essentie wiskundig *is*. Dan haalt men de taal, die *hulpmiddel* is voor beschrijving en het beschreven object door elkaar. Waar het in de fysische wetenschap om gaat is de vraag of de beschrijving *correspondeert* met het beschreven fenomeen. Wanneer die correspondentie tot stand gebracht wordt, dan is de beschrijving een geslaagde synthese van een *subjectief* aandeel (het vinden van taal, procedures, en andere hulpmiddelen voor beschrijving) en een *objectief* aandeel (dat via metingen en observaties in de beschrijving doorwerkt).
2. Zo gezien berust fysische kennis op een specifieke soort van interactie tussen subject en object, die inderdaad kan resulteren in beschrijvingen waarover alle fysische observatoren het (voorlopig) eens zijn. De stelling, dat daarom die beschrijvingen opgevat moeten worden als 'zuiver objectief' ontkent achteraf het subjectieve aandeel, en daar is geen enkele reden voor. Het is aannemelijker om fysische objectiviteit te zien als menselijk-relatieve objectiviteit.
3. Wanneer de aanname van 'zuivere objectiviteit' vervangen wordt door de aanname van relatieve objectiviteit, dan vervalt de noodzaak om de mens te zien als een wezen dat in geestelijk opzicht buiten de natuur valt of boven de natuur staat. Die hoogmoedige mensvisie kan vervangen worden door de visie dat de mens als lichamenlijk-geestelijk wezen tot de natuur behoort. De behoefte aan kennis kan vergeleken worden met de behoefte aan voedsel. Zo goed als de mens in de natuur het voedsel vindt dat aan zijn behoefte voldoet, zo vindt hij ook in de natuur de invarianties die aan (een deel van) zijn behoefte aan kennis tegemoet komen.
4. Dat de kennis van de natuur die fysica ontwikkelt niet exclusief tot dé kennis van dé natuur verklaard kan worden is voor Sizoo evident. Belangrijke aspecten van de natuur ontsnappen aan de beperkte blik van de fysica.
5. De keuze voor de hierboven beschreven benadering komt bij Sizoo mede voort uit zijn voorkeur voor een bescheiden religieuze mensvisie. Het idee dat de mens de 'gedachten Gods' zou kunnen 'na-denken' acht hij veel te hoogmoedig. Hij ziet daarom fysisch denken als denken van een schepsel over schepselen.

Het blijkt dat de mens, door middel van fysische kennis, ook veel macht kan verwerven. Die macht verleidt om fysische kennis vooral te zoeken om haar nuttigheid. Nuttigheid mag echter voor Sizoo nooit het enige motief zijn. Het gaat in de eerste plaats om verdieping van inzicht als eerbewijs aan de Schepper.

De interpretatie van Sizoo, in het verlengde van de Kopenhaagse interpretatie, laat zien dat het klassieke beeld van een zuiver objectieve natuur ingeruild kan worden voor het beeld van een relatief-objectieve natuur, waar de onderzoeker niet buiten of boven staat maar deel van uitmaakt. Vanuit Sizoo's interpretatie hoeft er aan het onderzoeksterrein of de fundamentele methode van de fysica niets te veranderen. Het cruciale verschil is te

illustreerend aan de consequenties voor mens- en wereldbeelden, die op pagina 587 geformuleerd werden. Al deze consequenties vervallen bij een visie als die van Sizoo. Het wordt mogelijk om 'natuur' zo ruim op te vatten, dat het niet vreemd meer is dat finaliteit, functionaliteit en betekenis in de natuur kunnen voorkomen. Dat opent mogelijkheden voor niet-mechanistische en niet-machinerige benaderingen van levende systemen en van evolutie. Een dergelijke visie opent mogelijkheden om ook de mens als een bijzonder natuurwezen te zien, en om de verhoudingen tussen mens en natuur, en tussen cultuur en natuur te herdefiniëren. Zodoende kunnen nieuwe perspectieven op ecologie en duurzaamheid geopend worden.

Omdat Sizoo's interpretatie in het verlengde ligt van de Kopenhaagse interpretatie impliceert zijn visie ook dat de twee conclusies, die op pagina 593 vermeld werden, gehandhaafd worden. Dat impliceert dat de fysica de traditionele principes van observatie en van analyse van haar voorwerpen van onderzoek als relatief-objectieve mechanismen, c.q. invarianties, *alleen kan volhouden met betrekking tot het macroniveau van het fysische experiment*. Wanneer men dit macro-systeem als object van onderzoek beschouwt dan is ook kwantummechanica nog steeds een vorm van mechanica.

In aanvulling tekende ik daarbij aan dat het macro-systeem van een fysisch experiment niet langer een zuiver natuurlijk systeem is. Een experiment-opstelling is deels een artefact, een door mensen ontworpen machine (een kunstmatig mechanisme), en deels nog steeds een natuurlijk systeem. Het kunstmatige mechanisme en een natuurlijk systeem vormen samen een 'hybride systeem' dat onderzoek als mechanisme toelaat.

Tenslotte vat ik het bovenstaande hier samen in de vorm van een sterkte-beperkingen-interactie schema, gebaseerd op Sizoo's interpretatie.

Sterk:

- fysica blijkt opnieuw in staat om, onder invloed van eigen onderzoek en experimenten, ingrijpende herzieningen van haar natuurbeeld te accepteren;
- kwantumfysica blijkt in staat om van systemen op kwantumniveau, die niet objectief kenbaar zijn, abstracte kennis te ontwikkelen die op macroniveau wel objectief toetsbaar is;
- door vast te houden aan continuïteit in uitgangspunten met betrekking tot de macro-fysische systemen van haar experimenten, handhaaft de fysica ook de kracht van haar benadering; een belangrijk aspect van die kracht is de toepasbaarheid van haar generieke kennis op categorieën van verschijnselen; op deze toepasbaarheid is de omvangrijke technologie gebaseerd die zich in het verlengde van kwantum-fysische kennis ontwikkelt.

Beperkingen:

- complementariteit van kwantumsystemen impliceert dat de fysische kennis, die de twee complementaire benaderingen inclusief hun onderlinge overgangen omvat, het karakter heeft van een formeel-operationeel taalspel waarvan de termen niet letterlijk of 'aanschouwelijk' kunnen worden opgevat;
- fysische objectiviteit kan slechts op het macroniveau van het fysische experiment onverkort gehandhaafd worden.

Interacties met mens- en wereldbeelden:

- De interpretatie van fysische kennis door Sizoo maakt duidelijk dat het klassiek-fysische objectiviteitsconcept zonder bezwaar opgegeven kan worden; elementen van deze interpretatie zijn:
 - + fysische kennis is gebaseerd op zelfgekozen beperkingen tot fysisch-objectieve observaties en fysisch-objectieve kennis van mechanismen, c.q. invarianties;
 - + fysische objectiviteit impliceert dat onderzoekers volgens interne regels ertoe gebracht of gedwongen kunnen worden om het over fysische kennis (voorlopig) eens te zijn; deze eensgezindheid impliceert slechts dat fysische kennis *relatief-objectief* is; omdat een 'subjectief aandeel' voor fysische kennis noodzakelijk is, blijft deze kennis menselijke kennis;
 - + de zelfbeperkingen van de fysica impliceren dat haar natuurkennis en haar natuurbeeld selectief en niet uitputtend zijn.

In § 3.c (pagina 454 e.v.) kwam tenslotte de ontwikkeling van het 'standaard model' beknopt aan de orde. Deze nieuwe tak van fysica rust op het fundament van relativiteitstheorie en kwantummechanica. Het is typerend voor de gewenning aan het principe van complementariteit dat in deze tak van fysica de term 'deeltje' in zeer algemene zin gebruikt wordt. Alle micro-fysische 'brokjes', of het nu stralingskwanta betreft of 'krachtvoerende deeltjes' of 'materiële deeltjes' in klassieke zin, worden tegenwoordig als 'deeltjes' aangeduid. Het standaardmodel is een omvattend systeem van modellen waarin alle soorten van deeltjes en hun interacties, in één samenhangend geheel mathematisch beschreven worden.

Omdat de nieuwe ontdekkingen en theorieën het fundament van relativiteitstheorie en kwantummechanica onaangetast laten, impliceert deze nieuwe tak van fysica geen principiële veranderingen in de sterke kanten en in de beperkingen, zoals die hierboven bij relativiteitstheorie en kwantumfysica zijn samengevat.

Met betrekking tot mens- en wereldbeelden blijven de interpretaties, van fysische objectiviteit als 'relatieve objectiviteit', en van fysische kennis als selectief en niet uitputtend, daarom nog even plausibel als in Sizoo's tijd. Bovendien hebben nadien ook vele andere denkers en onderzoekers opvattingen als die van Sizoo verder uitgewerkt en beargumenteerd. In hoofdstuk 14 heb ik enkele van deze latere interpretaties besproken om met behulp daarvan een eigentijdse visie op 'fysica en waarheid' te ontwikkelen.

Maar, omdat deze opvattingen het karakter houden van interpretaties zijn de discussies daarover niet afgesloten.

1.j Samenvatting

Op grond van het voorafgaande kunnen de sterke punten en beperkingen, en de interacties met mens- en wereldbeelden, nu als volgt beknopt samengevat worden:

Sterke kanten:

- a. Fysica erfde van de oorspronkelijke 'empirische' wiskunde het vermogen om generieke vormen in concrete systemen te herkennen en onderzoekbaar te maken. Zodoende erfde fysica van de wiskunde ook het voordeel dat haar generieke kennis toepasbaar is op hele categorieën van objecten, voor zover die objecten corresponderen met de geanalyseerde generieke vormen. Op dit voordeel is in principe de technische toepasbaarheid van fysische kennis gebaseerd. Daarbij komt, dat fysica berust op de keuze om wiskunde te gebruiken als hulpmiddel om generieke structuren van natuurlijke objecten zo precies mogelijk te beschrijven. De correspondentie tussen beschrijving (model) en origineel moet met name blijken uit het vermogen om nauwkeurige en controleerbare voorspellingen te doen.
- b. Het vermogen om voorspellingen te doen werd in de 17^e eeuw sterk uitgebreid door de ontwikkeling van de mechanica. Men ontwikkelde nieuwe mathematische hulpmiddelen om het gedrag van veranderende (bewegende) objecten te beschrijven en te voorspellen. Aan deze ontwikkeling heeft de fysica blijvende concepten, zoals 'toestand', 'snelheid', 'versnelling', 'kracht', 'energie', en 'massa', en de fundamentele onderscheiding tussen 'systeem' en 'omgeving', te danken.
- c. In samenhang daarmee werden in de 17^e eeuw eisen geformuleerd waaraan waarnemingen moeten voldoen, om als 'observaties' bruikbaar te zijn. Dankzij het voldoen aan deze eisen:
 - + zijn observaties uitwisselbaar, herhaalbaar, toetsbaar, en verbeterbaar binnen de fysische gemeenschap;
 - + kunnen observatoren het eens worden en observaties als 'feiten' vaststellen;
 - + zijn observaties vertaalbaar naar mathematische variabelen in modellen.
- d. De mechanica van Newton richtte zich bij haar modelvorming van mechanische systemen op twee soorten van gevolgijsheid, recursieve gevolgijsheid en deel-geheel gevolgijsheid, samengevat onder de term 'causaliteit'. Deze onderzoeksbenadering bleek dermate vruchtbaar en succesvol dat het tot de identiteit van de fysica als geheel ging behoren om deze causaliteit als vast uitgangspunt voor haar onderzoek te hanteren. Van de fysica als geheel kan sindsdien gezegd worden dat zij zich concentreert op onderzoek naar 'mechanismen' (of 'invarianties') die causale verklaring toelaten.

- e. Fysica blijkt in de loop van haar geschiedenis in staat te zijn om, onder invloed van eigen onderzoek overschatte kennispretenties en oude vanzelfsprekendheden op te geven, zoals blijkt uit:
- + de acceptatie van toeval, en opgave van het concept van één-op-één causaliteit;
 - + het opgeven van het traditionele concept van absolute ruimte en tijd, acceptatie van relativiteit van vele observaties, afhankelijk van positie, snelheid en versnelling; en acceptatie van de absoluutheid van 'lichtsnelheid' in plaats daarvan;
 - + de acceptatie van onvoorstelbare concepten zoals 'gekromde ruimte-tijd';
 - + de acceptatie van complementariteit en onbereikbare objectiviteit in de kwantummechanica;
 - + et cetera.
- f. Fysica blijkt in de loop van haar geschiedenis in staat om, ondanks bovengenoemde ingrijpende herzieningen, vast te blijven houden aan de principes van haar vruchtbare onderzoeksbenadering. Deze vasthoudendheid resulteerde in het betreden van tal van nieuwe onderzoeksterreinen (zoals chaotische systemen, relativistische systemen en kwantumsystemen), in het oplossen van oude problemen, en in het verenigen van deelgebieden die voorheen gescheiden waren. Met als gevolg dat op allerlei gebied technische toepassingen mogelijk werden die voorheen ondenkbaar waren.

Beperkingen:

- a. De nauwkeurigheid van observaties blijft, ondanks alle inspanningen om die te verbeteren, altijd een beperkte nauwkeurigheid.
- b. De acceptatie van toeval impliceert:
- + dat kennisvorming en voorspelbaarheid van vele natuurlijke systemen beperkt is tot kennis en voorspellingen in termen van kansen;
 - + dat fysische tijd in veel gevallen niet teruggedraaid kan worden.
- c. De acceptatie van het relativistische natuurbeeld impliceert:
- + dat vele observaties afhankelijk zijn van het gehanteerde referentie-systeem; en dat de 'objectieve' kennis die relatieve observaties kan verklaren, voorspellen en verbinden beperkt is tot het onaanschouwelijke 'abstracte residu' dat in wiskundige modellen is vastgelegd;
 - + dat causaliteit beperkt is tot ketens van oorzaken en gevolgen die in één Ruimte-Tijd-geschiedenis verenigd kunnen worden;
 - + dat de geldigheid van de klassieke wetten van 'massa-behoud' en 'energie-behoud' beperkt is tot bijzondere condities; en dat massa en energie in principe in elkaar kunnen overgaan.
- d. De acceptatie van complementariteit door de kwantummechanica impliceert:
- + dat de fysische kennis, die de twee complementaire benaderingen inclusief hun onderlinge overgangen omvat, het karakter heeft van een formeel-operationeel taalspel waarvan de termen niet letterlijk of 'aanschouwelijk' kunnen worden opgevat;

- + dat fysische objectiviteit slechts op het macroniveau van het fysische experiment onverkort gehandhaafd kan worden.
- e. Onder invloed van interacties met mens- en wereldbeelden (zie onder) konden beperkingen van fysisch onderzoek en fysische kennis als beperkingen erkend worden, die in de loop van de geschiedenis niet altijd erkend werden, zoals de beperkingen tot:
- + systemen die, of voor zover deze, een wiskundige beschrijving toelaten;
 - + systemen die, of voor zover deze, geen verklaring vanuit functies, doelen of betekenis behoeven;
 - + systemen die aan vaste kenmerken identificeerbaar zijn;
 - + kenmerken die bij een generieke categorie ondergebracht kunnen worden en aan een uniforme maatstaf afgemeten kunnen worden;
 - + samenhangen tussen kenmerken die voor een generieke categorie van systemen gelden;
 - + samenhangen tussen een eindig aantal kenmerken;
 - + samenhangen tussen kenmerken die de onderscheiding tussen afhankelijke en onafhankelijke variabelen toelaten;
 - + observaties die herhaalbaar zijn;
 - + observaties die een waargenomen systeem niet (merkbaar) beïnvloeden, of waarvan de invloed 'gerepareerd' kan worden;
 - + causaliteit als combinatie van recursieve gevolgblijkheid en deel-geheel gevolgblijkheid.

Interacties met mens- en wereldbeelden:

- a. De successen van de empirisch-experimentele fysica, die in de 17e eeuw opkwam, en die mede geworteld was in de Griekse essentialistische traditie, bewerkstelligden een sterke invloed op de gangbare mens- en wereldbeelden:
- + traditionele mens- en wereldbeelden werden door deze 'nieuwe wetenschap' geconfronteerd met strijdigheden of gekunsteldheid, hetgeen inspireerde tot vernieuwing van mens- en wereldbeelden;
 - + in brede kringen werd op den duur het natuurbeeld van deze fysica omarmd als beeld van dé natuur, met als consequenties:
 - de enige benadering die recht doet aan wat dé natuur in wezen is, is die van de moderne fysica;
 - de enige benadering die ware kennis over de werkelijkheid kan voortbrengen is de fysische methode, wetenschap kan dus alleen ware wetenschap zijn indien zij deze methode navolgt;
 - de enige categorie van waarnemingen die een waar beeld van de werkelijkheid geven zijn de zuiver objectieve observaties waar de fysica op gebaseerd is;

- het enige wezen dat (van God) het vermogen heeft ontvangen om zich een objectief waar beeld van het universum te vormen (te zien zoals God het ook ziet) is de mens;
 - het enige wezen dat wel *in* de natuur voorkomt, maar essentieel niet tot de natuur behoort omdat hij, vooral door zijn objectieve blik en mathematisch denken, *boven* de natuur staat is de mens;
 - de enige objectief-ware samenhangen, die het verloop van alle processen in de natuur bepalen, zijn geformuleerd in de wetten van de fysica; in wezen zijn het verleden en de toekomst van al die processen volledig gedetermineerd door de onveranderlijke elementaire deeltjes waaruit alles bestaat en de onveranderlijke wetten die volkomen bepalen hoe configuraties van die deeltjes zich ontwikkelen.
- b. Nieuwe ontwikkelingen in de fysica noodzaakten eind 19e eeuw tot enkele ingrijpende herzieningen van het tot dan toe gangbare deterministische natuurbeeld, zoals het accepteren van toeval en van de onomkeerbaarheid van fysische tijd. Daarnaast maakte de opkomst van de evolutietheorie veel indruk omdat zij het ontstaan van functionaliteit uit toeval en causaliteit leek te verklaren, en zodoende de verklaring van levende wezens als 'machines' die door een deïstische godheid ontworpen waren overbodig leek te maken. Identificatie van *dé* natuur met het nieuwe natuurbeeld van de natuurwetenschappen leidde in brede kringen tot de volgende consequenties:
- + omdat de causaliteit van mechanismen de enige gevolglijkheid is die in de natuur voorkomt, kunnen vormen van finaliteit, functionaliteit en betekenis niet voorkomen in de natuur, zoals die zuiver objectief bestaat;
 - + de enig mogelijke verklaringsgrond voor het ontstaan en bestaan van functionele kenmerken van levende wezens is 'evolutionaire nuttigheid';
 - + de enig mogelijke verklaring van de functionele kenmerken van dierlijk gedrag is dat zij onbewust gedreven worden door evolutionair ingebouwde 'instincten';
 - + de enig mogelijke verklaring, voor de functionaliteit, finaliteit, behoeften, waarden, en betekenissen waar het menselijke leven van doordrenkt is, is dat mensen in essentie buiten en boven de natuur staan;
 - + vanuit de cultuur kan de natuur alleen gezien worden als een vijandige 'wilderis', die ongelimiteerd overheerst en geëxploiteerd mag worden.
- c. De ingrijpende veranderingen in het natuurbeeld van de fysica, vanaf het begin van de 20e eeuw, noodzaakten op-zich niet tot het opgeven van het klassieke objectiviteitsconcept, of het opgeven van het dualisme van de mens als burger van twee werelden, of van de uiteenstelling van cultuur en natuur. Het voorbeeld van de interpretatie van de relativiteitstheorie door Bertrand Russell maakte duidelijk hoe deze elementen van een gangbaar wereldbeeld gehandhaafd konden worden:
- + door te stellen dat de relativiteitstheorie, ondanks alle standpuntafhankelijkheid van observaties, uit die observaties toch een 'abstract residu' van zuiver objec-

tieve kennis afleidt in de vorm van de formele mathematiek van fysische modellen;

- + door daaraan de consequentie te verbinden dat de mens als 'betekenis- en beleavingswezen' niet kan voorkomen in de objectieve natuur, en dat daarom de natuurwetenschappelijke benadering niet toepasbaar is op menselijke zaken.
- d. Deze zelfde ontwikkelingen bleken andere fysici niet te verhinderen, maar juist te inspireren, om zowel het klassieke objectiviteitsconcept, als het dualisme in het mensbeeld, als de uiteenstelling van cultuur en natuur af te wijzen. Als voorbeeld daarvan werd de fysica-interpretatie van Gerard Sizoo behandeld. Enkele cruciale elementen van die interpretatie waren:
- + fysische kennis is gebaseerd op zelfgekozen beperkingen tot fysisch-objectieve observaties en fysisch-objectieve kennis van mechanismen, c.q. invarianties;
 - + fysische objectiviteit impliceert dat onderzoekers volgens interne regels ertoe gebracht of gedwongen kunnen worden om het over fysische kennis (voorlopig) eens te zijn; deze eensgezindheid impliceert slechts dat fysische kennis *relatief-objectief* is; omdat een 'subjectief aandeel' voor fysische kennis noodzakelijk is, blijft deze kennis menselijke kennis;
 - + de zelfbeperkingen van de fysica impliceren dat haar natuurkennis en haar natuurbeeld selectief en niet uitputtend zijn.

1.k Familie-verhoudingen

Fysische wetenschap neemt in de wetenschaps-familie, naast wiskunde, de respectabele positie in van een oud familielid met een bijzonder rijke geschiedenis. Deze tak van wetenschap heeft in de loop van eeuwen een intensieve ontwikkeling doorgemaakt, inclusief enkele 'identiteitscrises'. Vanaf de 17e eeuw heeft dit familielid echter, ondanks ingrijpende crises van haar natuurbeeld, een vaste kern van haar 'identiteit' gehandhaafd. Sindsdien is fysische wetenschap steeds 'mechanisme-wetenschap' gebleven.

Binnen de familie is het een belangrijke verdienste van fysische wetenschap dat zij methoden ontwikkelde om kennis 'van hoge kwaliteit' voort te brengen. Een cruciaal aspect van die 'hoge kwaliteit' is de mate van zekerheid van fysische kennis. Terwijl wiskunde al gezien kan worden als tak van wetenschap die zich toelegt op kennis met een hoge mate van *logische* zekerheid, heeft fysica aan die wiskundige ambitie toegevoegd dat zij zich ook toelegt op het voortbrengen van kennis met een hoge mate van *empirische* zekerheid. Fysici kunnen met terechte trots poneren dat hun kennis in hoge mate zeker is, omdat al hun kennis met de hoogst bereikbare mate van nauwkeurigheid kritisch getoetst is, of wordt, aan de empirie van fysische experimenten en fysische observaties. Samen met het generieke karakter van fysische kennis heeft deze zekerheid enorme gebieden van betrouwbare technische toepassingen mogelijk gemaakt.

Binnen de familie roept een dergelijk indrukwekkend voorbeeld de vraag op of dit voorbeeld (paradigma) voor de hele familie maatgevend moet zijn. Verdient kennis het keur-

merk 'van hoge kwaliteit' alleen als die kwaliteit aan de criteria van exacte empirische wetenschap wordt afgemeten? Of moeten voor andere takken van wetenschap andere criteria gelden? In de loop van de ontwikkeling van die andere takken van wetenschap heeft deze vraag veel discussie opgeroepen en veel denkwerk gevraagd. Globaal genomen geven deze discussies de indruk dat ook andere wetenschappen eraan hechten om kennis 'van hoge kwaliteit' voort te brengen, maar dat zij voor die kwaliteit deels andere criteria geformuleerd hebben, en dat vele discussies over kwaliteitscriteria bovendien nog volop gaande zijn.

De verkenning in dit deel heeft laten zien dat de fysische onderzoeksgemeenschap in deze discussies, en met betrekking tot dit denkwerk, ambivalente posities inneemt, vergelijkbaar met de ambivalente posities die de mathematische onderzoeksgemeenschap inneemt (zie deel II, hoofdstuk 9, § 1.b / *Familie-verhoudingen*). Zoals in dit deel met name bleek bij de beschrijving van de positie die Sizoo innam (hoofdstuk 13, § 2.e), kunnen fysici posities innemen tussen de polen van extreem objectivisme (c.q. essentialisme) en extreem subjectivisme (c.q. instrumentalisme). Sizoo vertegenwoordigde binnen dit spectrum een 'middenpositie'.

Voortbordurend op deze 'middenpositie' is de 'moraal' van het overzicht in deze paragraaf dat de sterke kanten van fysische kenniskwaliteit een keerzijde hebben van ingrijpende beperkingen, die belangrijke aspecten van natuurlijke en menselijke werkelijkheid van kennisontwikkeling uitsluiten. In dit licht gaat de 'hoge kwaliteit' van fysische kennis gepaard aan verlies met betrekking tot andere kennis-soorten. Voor fysici, die ook verantwoordelijkheid willen nemen voor beter gebruik van fysische kennis, en die daartoe met andere disciplines willen samenwerken, is het besef van de beperkingen van fysische kennis en de openheid voor andere soorten van kennis van groot belang.

2 EISEN AAN DE WERKWIJZE

Richtvraag (pagina 574):

Stelt dit familielid specifieke eisen aan de werkwijze bij onderzoek?

Omdat wiskunde een essentieel aspect is van de taal waarin fysica haar modellen formuleert, erft fysica ook de werkwijze-eisen van wiskunde, zoals die in deel II geformuleerd werden (hoofdstuk 9, § 2). Kort samengevat:

- de eis dat een fysicus in staat moet zijn om, met gebruikmaking van intuïtie, nieuwe calculi creatief te ontwerpen, of problemen binnen bestaande calculi creatief op te lossen;
- en de eis dat een fysicus in staat moet zijn om zuiver formeel ('semantisch blind') te redeneren.

Omdat fysica heeft vastgehouden aan het streven naar waarheid, in de vorm van toetsing door middel van experiment en observatie, komen er nog een aantal eisen bij:

- de eis dat fysische modellen zodanig ontworpen worden dat zij toetsbare observaties voorspellen;
- de eis dat een fysicus in staat is om vernuftige experimenten te ontwerpen waarmee hypothesen of onderzoeksresultaten van anderen getoetst kunnen worden;
- de eis dat een fysicus, bij uitvoering van een experiment, aan alle eisen voor fysische observatie voldoet (zie pagina 330-337);
- de eis dat een fysicus, samen met technici, in staat is om de technische aspecten van een experiment te ontwerpen; de fysicus blijkt dan in staat om ook voort te bouwen op de kennis van zijn voorgangers door gebruik te maken van instrumenten die op hun kennis gebaseerd zijn.

3 IS DE SAMENHANG TUSSEN ONDERSTEUNING EN VORMING ONDERZOEKBAAR?

Richtvraag (pagina 574):

Kan de samenhang tussen 'ondersteuning' en 'vorming' volgens dit familielid beschouwd worden als een modus van onderzoekbare gevolijkheid?

Bij de beantwoording van deze familiekwestie in deel II (hoofdstuk 9, § 3) bleek dat deze vraag voor wiskunde gedeeltelijk bevestigend beantwoord kon worden. Vanwege de nauwe familieverbanden tussen fysica en wiskunde wil ik nu nagaan in hoeverre fysica kan aansluiten bij het antwoord voor wiskunde. Daarom zal ik hier eerst het antwoord voor wiskunde kort recapitulieren.

In eerste instantie bleek dat een wiskundige de bovenstaande vraag in principe bevestigend kan beantwoorden. Men kan wiskundig, via statistische methoden, nagaan óf er (met een bepaalde mate van waarschijnlijkheid) samenhang tussen kenmerken van ondersteuning (O) en van vorming (V) bestaat, zonder zich te verdiepen in de aard van die samenhang. Een beperkende voorwaarde is daarbij dat de kenmerken, waarvan men wil onderzoeken of zij samenhangen, geoperationaliseerd moeten kunnen worden in meetbare indicatoren om vervolgens vertaald te kunnen worden naar wiskundige variabelen, waarop statistische berekeningen toegepast kunnen worden. Omdat 'meetbaarheid' impliceert dat deze indicatoren aan uniforme maatstaven afgemeten moeten kunnen worden, impliceert deze eis wel het afzien van alle unieke aspecten van de onderzochte kenmerken van O en van V.

Aan de hand van contrastering met Plato's generaliserende opvatting van liefde werd vervolgens betoogd dat, door de inperking tot uniform meetbare kenmerken, essentiële aspecten van ondersteuning en van vorming over het hoofd gezien worden. Het ondersteunen van vorming impliceert juist dat de ondersteuner unieke kenmerken van de ander wil zien en bevorderen, en dat de ondersteuner ook unieke kenmerken van

zichzelf en van de situatie wil gebruiken om de unieke vorming van een unieke ander te ondersteunen. Ofwel: de ondersteuning impliceert een kennisinteresse die tegengesteld is aan de wiskundig-generaliserende kennisinteresse. Dat wil niet zeggen dat ondersteuners helemaal geen gebruik kunnen maken van resultaten van wiskundig-generaliserend onderzoek, maar dat zij op andere wijze antwoorden moeten verkrijgen op essentiële kennisvragen die betrekking hebben op unieke aspecten van O en van V . Daarom luidde het samenvattende antwoord in hoofdstuk 9 (§ 3.g): *Ja, sommige generieke aspecten van die samenhang kunnen beschouwd worden als wiskundig onderzoekbaar. En, wanneer wiskunde zich als gelijkwaardige partner opstelt en ruimte voor andere benaderingen open laat, dan kunnen haar onderzoeksresultaten bijdragen aan inzicht, en aan de kwaliteit van ondersteuning.*

Wanneer men nu aan een fysicus zou vragen of onderzoek vanuit zijn discipline een bijdrage zou kunnen leveren, in aanvulling op het bovenstaande, dan zal deze in eerste instantie afwijzend reageren op de aard van de waarnemingen waarop dat onderzoek gebaseerd zou moeten zijn. Alle voorbeelden die in de hierboven samengevatte paragraaf genoemd worden betreffen immers data uit vragenlijsten (of dergelijke) die zich lenen voor statistische bewerking. Wanneer een fysicus dan nagaat wat de aard is van de waarnemingen waarop die data gebaseerd zijn, dan moet hij tot de conclusie komen dat het hier om data gaat waar hij als fysicus geen gebruik van kan maken. In de eerste plaats omdat aan respondenten van vragenlijsten vaak gevraagd wordt om waarnemingen te rapporteren die de restricties van fysische observaties ver te buiten gaan. Waarnemingen in de trant van "stelde jouw leraar belangstellende vragen naar ...", "ervoer je het commentaar van je leraar als afbrekend ...", et cetera. Het gaat hier om waarnemingen die de grenzen van observaties van primaire kenmerken (extern, zichtbaar, tastbaar) ver overschrijden. Bovendien komen op de weg, van het oproepen tot aan het coderen van waarnemingen, complexe hermeneutische processen tussenbeide. De respondenten interpreteren elk op hun wijze de vragen van de onderzoeker, en de onderzoeker interpreteert de reacties van de respondenten in het licht van zijn vraagstelling. Het productieproces van statistisch verwerkbaar data is zodoende ongeneeslijk afhankelijk van menselijk-subjectieve hermeneutiek. En het is nu juist deze menselijke hermeneutiek die een fysicus buiten boord houdt om observaties boven elke discussie als 'fysisch-objectieve feiten' vast te kunnen stellen.

In de tweede plaats is er een onoverkomelijk probleem op het gebied van de *gevolglijkheid* die onderzoek aan het licht moet brengen. In deel I (hoofdstuk 2, § 4.b) is immers 'vorming' gedefinieerd als een gevolg met essentiële kenmerken die niet tot zijn oorzaak te herleiden zijn. *"Een vorming-ondersteunende leraar, bijvoorbeeld, is tevreden in de mate waarin acties of producten van leerlingen kenmerken hebben die hem verrassen omdat hij die kenmerken niet kon voorzien of beogen als gevolgen van zijn ondersteuning. Het paradoxale van deze samenhang is, dat hij deze verrassende gevolgen met zijn ondersteuning wel beoogt, maar tegelijk beoogt dat deze gevolgen nieuwe elementen bevatten*

*die hij niet als gevolgen van zijn ondersteuning kon voorzien. De ondersteunende leraar gaat ervan uit dat de samenhang tussen ondersteuning en vorming van dien aard is dat deze paradox daar logisch uit voortvloeit, en een essentiële indicatie is van de 'effectiviteit' van deze samenhang" (hoofdstuk 2, § 4.b / Verrassende gevolgen). In deze zinnen is een gevolgtrekking geformuleerd die radicaal verschilt van de gevolgtrekking waartoe fysica zich beperkt. De ondersteuning van vorming beoogt immers gevolgen teweeg te brengen die in belangrijke mate *niet* vanuit de oorzaak verklaard of voorspeld kunnen worden, terwijl fysica zich juist concentreert op (en beperkt tot) gevolgen die *wél* uit een oorzaak verklaard en voorspeld kunnen worden (eventueel als mogelijk gevolg met berekenbare kanswaarde). Fysische kennis leidt tot verrassingsreductie, en 'ondersteuningskennis' leidt tot verrassingstoename. De causaliteit waarop de fysica zich concentreert wordt hier uitgesloten; en de gevolgtrekking die hier bedoeld is, wordt juist in de fysica uitgesloten. Hierdoor wordt de conclusie onvermijdelijk *dat de samenhang tussen ondersteuning en vorming voor de fysica geen onderzoekbare gevolgtrekking is.**

Tenslotte kan nog de vraag gesteld worden, of het uitsluiten van fysica ook het uitsluiten van natuurwetenschap in het algemeen impliceert. In antwoord op die vraag kan gesteld worden dat hiermee 'natuurwetenschap' niet per definitie uitgesloten is. Het huidige hoofdstuk is immers uitgelopen op de conclusie dat het concept 'natuur' niet ingeperkt hoeft te zijn tot wat de fysica ervan onderzoekt. Het is met name niet uitgesloten dat de biologie, als wetenschap van levende systemen, die haar horizon verruimt tot meer modi van gevolgtrekking dan de fysica accepteert, *wél* zou kunnen bijdragen aan onderzoek naar de relatie tussen ondersteuning en vorming.

HOOFDSTUK 17

De vierde familiekwestie: identiteitskenmerken

In dit hoofdstuk wordt het verkennende onderzoek van het huidige deel III, én van deel II, afgerond. Om die afronding te bereiken resteren nog twee taken:

1. Het verzamelen van de opbrengst van dit deel III in het licht van de vierde 'familiekwestie': *Welke aanwijzingen levert het in dit deel beschreven verkennende onderzoek op omtrent identiteitskenmerken die eraan kunnen bijdragen dat een schoolleider goed (en beter) functioneert als pedagogisch leider ten aanzien van het onderwijs in scheikunde en natuurkunde?*
2. Het integreren van bovengenoemde opbrengst met de opbrengst van deel II, zodat daarmee de eerste deelvraag van het onderzoek als geheel beantwoord is. De deelvraag, die in deel I (hoofdstuk 2, einde § 1) geformuleerd werd als: *Welke identiteitskenmerken kunnen eraan bijdragen dat een schoolleider in zijn school goed (en beter) functioneert als pedagogisch leider, ten aanzien van het onderwijs in de exacte vakken?*

Om het antwoord op de 'vierde familiekwestie' (taak 1) te bereiken zullen, evenals in hoofdstuk 10 van deel II, drie hulpvragen gebruikt worden:

- a. *Welke kansen op vorming hebben de schoolvakken scheikunde en natuurkunde in principe te bieden?*
- b. *Hoe kunnen schoolleiders zich voorstellen dat leraren schei- en natuurkunde de vorming van leerlingen ondersteunen, en dat zijzelf de vorming van deze leraren ondersteunen?*
- c. *Kan men toetsend onderzoek inzetten ter verbetering van de ondersteuning van vorming op school, en zo ja, aan welke eisen moet zulk onderzoek voldoen?*

In de eerste drie paragrafen van dit hoofdstuk zal steeds één van deze hulpvragen centraal staan, en gebruikt worden om op het spoor te komen van wenselijke identiteitskenmerken. Daarbij zal de reeds in deel II verkregen opbrengst als uitgangspunt genomen worden om te bezien of deze opbrengst (met enige aanpassing) ook voor schei- en natuurkunde geldt, dan wel aanvulling behoeft in het licht van de inhoud van deel III. Aan het eind van iedere paragraaf zullen de opbrengsten van deel II en deel III geïntegreerd worden tot één opsomming van wenselijke identiteitskenmerken.

In de vierde paragraaf zullen tenslotte de opbrengsten van de voorafgaande drie paragrafen tot één geheel geïntegreerd worden. Zodoende zal aan het einde van dit hoofdstuk het doel van de delen II en III samen bereikt zijn, in de vorm van een antwoord op de eerste deelvraag van het onderzoek als geheel (zie vraag 2 hierboven).

Dit antwoord zal in versterkte mate opnieuw tot de conclusie leiden, dat mijn onderzoek niet voorbij kan aan de wenselijkheid, dat ook lerarenopleidingen (exacte vakken) bijdragen aan pedagogisch leiderschap.

1 KANSEN OP VORMING

Zoals aangekondigd begint deze paragraaf met een overzicht van de identiteitskenmerken die afgeleid werden uit de antwoorden op de eerste hulpvraag bij de vierde familiekwestie uit deel II (zie inleiding hoofdstuk 10): *Welke kansen op vorming heeft het schoolvak wiskunde in principe te bieden?* Deze vraag werd in deel II beantwoord in de paragrafen 1.a tot en met 1.d van hoofdstuk 10.

De stap naar identiteitskenmerken van schoolleiders werd in § 1.e van hoofdstuk 10 gezet door beantwoording van de vraag:

Welke aanwijzingen leveren deze antwoorden op, omtrent identiteitskenmerken die er aan kunnen bijdragen dat een schoolleider goed (en beter) functioneert als pedagogisch leider ten aanzien van het onderwijs in de wiskunde?

1.a Opbrengst deel II

De beantwoording van deze laatste vraag leidde in deel II tot de volgende opsomming van identiteitskenmerken (hoofdstuk 10, § 1.e, *Samenvatting*):

Als identiteitskenmerken, die eraan kunnen bijdragen dat een schoolleider goed (en beter) functioneert als pedagogisch leider ten aanzien van het onderwijs in de wiskunde, kunnen genoemd worden:

Dat de schoolleider

1. zich kan voorstellen, en ook kan waarderen,
 - + dát wiskunde voor mensen, en dus ook voor leerlingen, positief- en negatief inspirerende ervaringen kan opleveren, en ook globaal weet
 - + welke ervaringen dat zijn, en welk vormgeverschap wiskunde-onderwijs bij leerlingen in principe kan stimuleren;
2. een gefundeerd beeld heeft van de sterke kanten, beperkingen, verleidingen en risico's van de wiskundige 'bril';
3. intrinsiek gemotiveerd is om tegenwicht te bieden tegen verkokering en eilandvorming tussen schoolvakken, en daarom gemotiveerd en in staat is om in de school de samenwerking aan brede vorming ('Bildung') tussen wiskunde en andere disciplines te stimuleren en te ondersteunen;
4. intrinsiek gemotiveerd en in staat is om leiding te geven aan de ontwikkeling van een omringende 'schoolorganisatie', vooral met betrekking tot het gebruik van

vruchten van de wiskundige discipline daarbinnen, die in overeenstemming is met de principes van vorming-ondersteunend onderwijs;

5. intrinsiek gemotiveerd en in staat is om in het schoolteam leiding te geven aan visie-ontwikkeling, op de verbetering en vernieuwing van de vorming-ondersteunende kwaliteit voor leerlingen, die voor de wiskundige cultuurbijdrage een zingevend kader schept, en waarmee de schoolgemeenschap laat zien dat ook zij niet alleen schepsel maar ook schepper is van cultuur.

1.b Aanvullingen binnen eerder genoemde identiteitskenmerken

Kenmerk 1

1. Dat de schoolleider zich kan voorstellen, en ook kan waarderen,
 - + dát wiskunde voor mensen, en dus ook voor leerlingen, positief- en negatief inspirerende ervaringen kan opleveren, en ook globaal weet
 - + welke ervaringen dat zijn, en welk vormgeverschap wiskunde-onderwijs bij leerlingen in principe kan stimuleren.

Om te beginnen herinner ik aan de overwegingen die in hoofdstuk 10 (§ 1.e) tot dit resultaat leidden.

De verantwoordelijkheid om het vormingspotentieel van een schoolvak aan leerlingen ten goede te laten komen berust uiteraard in de eerste plaats bij de betrokken leraren. Wanneer *zij* intrinsiek gemotiveerd zijn om de vorming van hun leerlingen te ondersteunen, dan is het in de eerste plaats aan hen om zich er creatief voor in te zetten dat leerlingen positief inspirerende ervaringen kunnen opdoen, en leren om negatieve ervaringen naar inspirerende ervaringen om te zetten.

Om deze leraren daarin kritisch en creatief te kunnen ondersteunen is het van belang dat schoolleiders zich kunnen voorstellen en kunnen waarderen, dát het onderwijs in een schoolvak positief en negatief inspirerende ervaringen bij leerlingen kan opleveren, en ook globaal weten om welke ervaringen het dan kan gaan. Dit voorstellingsvermogen en waarderingsvermogen hebben schoolleiders nodig om op hun beurt de leraren 'con amore' te ondersteunen bij het realiseren van het vormingspotentieel van hun vakonderwijs. Via deze overwegingen kwam ik in hoofdstuk 10 (§ 1.e) uit bij het eerste hierboven genoemde identiteitskenmerk.

Het lijkt mij duidelijk dat dit identiteitskenmerk van toepassing is op alle schoolvakken, en dus ook op het onderwijs in natuur- en scheikunde. Na aanvulling met deze disciplines luidt dit kenmerk dan:

1. Dat de schoolleider zich kan voorstellen, en ook kan waarderen,
 - + dát de exacte vakken voor mensen, en dus ook voor leerlingen, positief- en negatief inspirerende ervaringen kunnen opleveren, en ook globaal weet

- + welke ervaringen dat zijn, en welk vormgeverschap het onderwijs in de exacte vakken bij leerlingen in principe kan stimuleren.

Kenmerk 2

2. Dat de schoolleider een gefundeerd beeld heeft van de sterke kanten, beperkingen, verleidingen en risico's van de wiskundige 'bril'.

De overwegingen bij het tweede kenmerk hadden in hoofdstuk 10 vooral betrekking op negatief inspirerende ervaringen. Veel negatieve ervaringen met betrekking tot de 'wiskundige bril' hingen, volgens de in deel II ondernomen reflecties²⁷⁶, samen met het overschatten van de sterke kanten en het onderschatten van de beperkingen van de wiskundige 'bril'. De onvruchtbaarheid van deze inschattingen resulteerde in de negatieve ervaringen van verleidingen en risico's, die op verschillende plaatsen in deel II beschreven werden. Aan de andere kant werd opgemerkt dat ongenueanceerde vijandschap tegen of afwijzing van wiskundige benaderingen ook op miskenningen berusten.

In hoofdstuk 16 van het huidige deel III, werden de verkenningen van fysieke wetenschap uit de hoofdstukken 11 tot en met 13 samengevat, en gebruikt om een beeld te vormen van sterke punten, beperkingen en interacties met mens- en wereldbeelden. Ook deze samenvatting werd voor een belangrijk deel gemotiveerd door de overweging, dat overschatting van de sterke kanten, en onderschatting van de beperkingen van de 'fysieke bril', in de geschiedenis van deze discipline aanleiding hebben gegeven, en nog steeds aanleiding geven, tot veel negatieve ervaringen en gevolgen. Om leerlingen te kunnen ondersteunen om negatieve ervaringen om te zetten in inspirerende ervaringen, is het van belang dat pedagogische leiders een goed beeld hebben van deze sterke kanten, beperkingen, verleidingen en risico's.

Om deze redenen lijkt het mij goed om de 'fysieke bril' ook op te nemen in de formulering van dit identiteitskenmerk. Aldus aangevuld luidt dit kenmerk nu:

2. Dat de schoolleider een gefundeerd beeld heeft van de sterke kanten, beperkingen, verleidingen en risico's van de 'wiskundige bril' en van de 'fysieke bril'.

Kenmerken 3 en 5

Dat de schoolleider

3. intrinsiek gemotiveerd is om tegenwicht te bieden tegen verkokering en eilandvorming tussen schoolvakken, en daarom gemotiveerd en in staat is om in de school de

²⁷⁶ Met name in hoofdstuk 9 (§ 3) en hoofdstuk 10 (§§ 1.b en 1.c).

samenwerking aan brede vorming ('Bildung') tussen wiskunde en andere disciplines te stimuleren en te ondersteunen;

5. intrinsiek gemotiveerd en in staat is om in het schoolteam leiding te geven aan visie-ontwikkeling, op de verbetering en vernieuwing van de vorming-ondersteunende kwaliteit voor leerlingen, die voor de wiskundige cultuurbijdrage een zingevend kader schept, en waarmee de schoolgemeenschap laat zien dat ook zij niet alleen schepsel maar ook schepper is van cultuur.

Deze twee kenmerken worden hier samengenomen, omdat zij beide betrekking hebben op de motivatie en kennis-van-zaken, die een schoolleider nodig heeft om leiding te kunnen geven aan de ontwikkeling van een schoolbreed 'vormingsbeleid', en omdat zij beide gelijkelijk van toepassing zijn op alle exacte schoolvakken.

Kenmerk 3 werd in deel II afgeleid uit de kansen op vorming die wiskunde-onderwijs te bieden heeft, omdat het risico van 'verkokering' en 'eilandvorming' zowel voorkomt in de 'omringende cultuur' als in de schoolcultuur. De negatieve ervaringen die mensen opdoen wanneer zij met de beperktheden van de wiskundige benadering geconfronteerd worden kan hen verleiden om naar een ander 'eiland' over te steken, waar een andere benadering heerst. Dit impliceert echter dat er genoeg wordt genomen met boedelscheiding of 'verkokering', en dat er niet gezocht wordt naar manieren waarop de wiskundige benadering en andere benaderingen elkaar zinvol en inspirerend kunnen aanvullen. Dit zoeken naar integratie is echter de enige strategie die uitzicht biedt op het omzetten van bovengenoemde negatieve ervaringen naar de inspirerende ervaringen van een onuitputtelijk-rijke werkelijkheid, en die uitzicht biedt op het scheppen van een samenhangende cultuur. Het opgeven van dit zoeken impliceert het opgeven van de hoop op belangrijke zingevende inspiratiebronnen. De school weerspiegelt dit opgeven wanneer er ook schoolintern genoeg wordt genomen met verkoking en eilandvorming. Het zoeken naar integratie, door samenwerking aan brede vorming ('Bildung'), kan in de schoolcultuur tegenwicht bieden tegen de verleiding om met verkoking en eilandvorming genoeg te nemen.

Kenmerk 5 hangt met het vorige kenmerk nauw samen, omdat de samenwerking aan brede vorming alleen een gecoördineerde samenwerking kan zijn wanneer zij gepaard gaat aan de ontwikkeling van een omvattende visie op vorming, die gepaard gaat aan de ontwikkeling van een samenhangend vormingsbeleid.

In deel II werd op grond van deze overwegingen geconcludeerd tot deze twee identiteitskenmerken. Zij brengen tot uitdrukking dat het bovenstaande van een schoolleider zowel intrinsieke motivatie vraagt, als een brede culturele en historische belangstelling en kennis-van-zaken. De verkenningen en reflecties van deel II hadden voor een belangrijk deel als doel om exemplarisch aan te geven wat er, in dit opzicht, tot de intellectuele bagage van een schoolleider zou kunnen behoren. Daarbij werd duidelijk dat de ontwikkeling van een brede visie op vorming, en van vormingsbeleid, ook vraagt om brede culturele belangstelling en kennis-van-zaken bij leraren.

Om het belang van dit 5e kenmerk opnieuw te onderstrepen wil ik hier enkele nieuwe elementen noemen die in het licht van huidige deel aandacht vragen bij de ontwikkeling van een visie op de cultuurbijdrage van fysieke disciplines, en bij de ontwikkeling van een zingevend kader voor het vormingsbeleid van de school. De kansen op vorming, zoals die in huidige deel met name in hoofdstuk 15 geschetst zijn, maken immers duidelijk dat het creatieve vormgevend vermogen van fysieke wetenschappers door de eeuwen heen een grote bijdrage aan onze cultuur heeft gegeven. Een cultuurbijdrage die echter, afhankelijk van de visie van waaruit men die interpreteert, naast positieve elementen ook negatieve ervaringen, verleidingen en risico's heeft opgeleverd. Wanneer een school jonge mensen in deze discipline wil inleiden, en hen daarbij optimaal wil toerusten om zich tot creatieve vormgevers van cultuur te ontwikkelen, dan is het van belang dat dit gebeurt vanuit een visie die het kritisch onderscheiden tussen positieve en negatieve kanten van de fysieke cultuurbijdragen mogelijk maakt.

Een belangrijke cultuurbijdrage van de fysieke wetenschap is de ontwikkeling van een natuurbeeld dat al eeuwenlang sterke invloed uitoefent op het gangbare wereldbeeld. Men hoeft daarbij alleen maar te denken aan de ontwikkeling van het beeld van een platte aarde onder een hemelkoepel, naar een bolvormige aarde in het centrum van de kosmos, naar een planeet in een zonnestelsel, naar een minuscuul stofje in een sterrenstelsel onder zeer vele sterrenstelsels, in een uitdijende kosmos die een omvang heeft van miljarden lichtjaren, die miljarden jaren geleden uit één oerknal ontstaan moet zijn, en waarvan onlangs bevestigd is dat de vierdimensionale ruimte-tijd waarin dit alles zich afspeelt zelf aan trillingen onderhevig is (van Calmthout, 2016). De grote media-belangstelling die dit laatste nieuws kreeg illustreert duidelijk dat het fysieke natuurbeeld veel gezag heeft en veel indruk maakt, en zodoende veel invloed uitoefent op het algemene wereldbeeld.

De keerzijde van deze schitterende en indrukwekkende cultuurbijdrage is de verleiding om het natuurbeeld van de fysieke wetenschap te verabsoluteren tot hét beeld van dé natuur, of tot hét beeld van dé wereld. Het betoog van het huidige deel was er daarom voor een belangrijk deel op gericht om de beperkingen van fysieke wetenschap als 'mechanisme-wetenschap' duidelijk te maken, en om zodoende tegelijk duidelijk te maken dat er geen enkele aanleiding is om aan te nemen dat alles wat de moeite van het kennen waard is als een mechanisme beschouwd kan worden.

Het gezag en de invloed van het fysieke natuurbeeld berusten uiteraard ook op de toepasbaarheid van fysieke kennis, en op de technische mogelijkheden om, door het slim manipuleren van oorzaken, gewenste gevolgen van de natuur 'af te dwingen'. Op grond van deze kenmerken hangt fysieke kennis in onze wereld samen met toepassingen die ons gehele leven doordringen, en die verbonden zijn met veel macht en veel geld. Ook daardoor kan niemand ongestraft het fysieke natuurbeeld negeren, en oefent het een sterke invloed uit.

De grote toepasbaarheid van fysieke kennis hangt voor een belangrijk deel samen met haar 'toepassingsneutraliteit'. Enerzijds kan dit kenmerk positief gewaardeerd worden, omdat het de vrijheid van gebruikers bevestigt. Anderzijds heeft dit kenmerk in

onze cultuur ook op grote schaal het afschuiven van verantwoordelijkheid, eenzijdige instrumentalisering, en moeite met kritische bezinning op doelen en 'bijwerkingen' in de hand gewerkt.

Een andere belangrijke cultuurbijdrage bestaat uit de 'toetsingsethiek' die door de fysische wetenschap in onze cultuur werd geïntroduceerd, en die ook in andere cultuurkringen ingang gevonden heeft. Fysische wetenschap heeft de kunst en de kunde ontwikkeld om stellige beweringen kritisch ter discussie te stellen, en om creatieve manieren te bedenken waarop beweringen getoetst kunnen worden. Onze cultuur heeft veel te danken aan de 'ontmythologiseringen' die deze benadering heeft bewerkstelligd.

Deze cultuurbijdrage kan met een negatieve keerzijde gepaard gaan wanneer men vergeet dat niet alles, dat de moeite van kennisname en onderzoek waard is, als 'mechanisme' beschouwd kan worden. Alle zaken die met 'betekenis' verband houden vallen bijvoorbeeld buiten het fysische domein, en het toetsen van interpretaties -inclusief interpretaties van fysische kennis- is complexer dan het toetsen van fysische feiten en verklaringen, en laat meer ruimte open voor verschillen. Wanneer men om die reden alle kennisvormen die op interpretatie en betekenis berusten minacht of ontkent, dan berooft men menselijke kennis en cultuur van een vitaal en onmisbaar onderdeel.

In het huidige deel werd ook beschreven hoe de vereenzelviging van de natuur van de fysische wetenschap met dé natuur in de loop van de geschiedenis kon leiden tot de dualistische opvatting, dat de mens een wezen is dat in essentieel opzicht buiten de natuur valt. Het uiteen of tegenover elkaar stellen van natuur en cultuur als gevolg daarvan, heeft in de hand gewerkt dat het vanzelfsprekend leek om het menselijke eigenbelang boven alles te stellen en de 'natuur' daaraan volkomen ondergeschikt te maken. Volgens cultuurkritische denkers berust de moeilijkheid van het oplossen van de ecologische problematiek voor een belangrijk deel op de taaiheid van deze vanzelfsprekendheid.

Anderzijds werd beschreven hoe zich in de 20^e eeuw een nieuwe visie ontwikkelde, resulterend in een veel bescheidener zelfbeeld van fysica, en uitgaand van de aanname dat mens en cultuur deel uitmaken van een natuur die veel rijker is dan het beeld dat de fysica van haar kan vormen.

Tenslotte noem ik hier de mogelijkheid om, in het verlengde van deze laatste visie, de bijzonderheid van mens-zijn *binnen* de natuur te plaatsen, door deze bijzonderheid vooral te verbinden aan het vermogen om complexe symbolische taal te ontwikkelen. In hoofdstuk 14 heb ik deze mogelijkheid verkend om te zien of fysica voorgesteld kan worden als één van de vele vruchten van dit taalvermogen. De uitkomst van deze verkenning opent het perspectief op de mogelijkheid, om niet alleen de exacte vakken maar ook alle andere disciplines die op school onderwezen worden (mede) als vruchten van dit taalvermogen te zien. Zo gezien is de school een plaats waar jonge mensen in cultuur worden ingeleid, door opleiding en inwijding in een breed spectrum van talen en taalspelen. Zo gezien verzorgen alle schoolvakken, inclusief de exacte vakken, taalonderwijs. En dus, als 'mens-wording' voor een belangrijk deel gebaseerd is op taalontwikkeling,

ondersteunen alle schoolvakken aspecten van de 'mens-wording' van leerlingen²⁷⁷. Daarbij gaat deze studie ervan uit dat die mens-wording pas compleet is wanneer leerlingen opgeleid en ingewijd worden, niet alleen om reproducerende schepselen van deze taalspelen te zijn, maar om deze taalspelen levend te houden door zelf creatieve bijdragen aan hun ontwikkeling te geven. Een dergelijke visie op onderwijs en vorming kan wellicht een *zingevend kader* bieden waarbinnen de exacte vakken naast alle andere vakken tot hun recht kunnen komen.

In aangevulde vorm kunnen de kenmerken 3 en 5 nu als volgt geformuleerd worden:

Dat de schoolleider

3. intrinsiek gemotiveerd is om tegenwicht te bieden tegen verkokering en eilandvorming tussen schoolvakken, en daarom gemotiveerd en in staat is om in de school de samenwerking aan brede vorming ('Bildung') tussen de exacte vakken en andere disciplines te stimuleren en te ondersteunen;
5. intrinsiek gemotiveerd en in staat is om in het schoolteam leiding te geven aan visieontwikkeling, op verbetering en vernieuwing van vorming-ondersteunende kwaliteit voor leerlingen, die voor de cultuurbijdrage van de exacte vakken een zingevend kader scheidt, en waarmee de schoolgemeenschap laat zien dat ook zij niet alleen schepsel maar ook schepper is van cultuur.

Kenmerk 4

4. Dat de schoolleider intrinsiek gemotiveerd en in staat is om leiding te geven aan de ontwikkeling van een omringende 'schoolorganisatie', vooral met betrekking tot het gebruik van vruchten van de wiskundige discipline daarbinnen, die in overeenstemming is met de principes van vorming-ondersteunend onderwijs.

Dit kenmerk werd in deel II vooral geformuleerd tegen de achtergrond van de kritische beschouwingen, over bruikbaarheid van statistische methoden bij onderzoek naar de samenhang tussen ondersteuning en vorming, en in het algemeen over het beperkte nut van statistische benaderingen zodra unieke kenmerken van personen en omstandigheden van invloed zijn (hoofdstuk 9, § 3).

In al deze gevallen gaat het echter om vormen van onderzoek of 'meten' waarbij waarnemingen van betekenisdragende data gebruikt worden, hetgeen impliceert dat er altijd een hermeneutisch aspect in het geding is. Zoals echter in het huidige deel III geconstateerd is (hoofdstuk 16, § 3), behoort het nu juist tot de methodische inperkingen van fysica om dergelijke hermeneutische aspecten buiten boord te houden. Daarom

²⁷⁷ Met dank aan Lea Dasberg, aan wie ik deze term ontleen (1996, p. 21). Zie hoofdstuk 1, § 3.

is kenmerk 4 alleen relevant met betrekking tot wiskunde en niet met betrekking tot schei- of natuurkunde. Dit kenmerk moet daarom ongewijzigd blijven.

1.c Aanvulling met nieuwe identiteitskenmerken

Het onderscheiden van drie dimensies van vorming is een nieuw element, dat voor het eerst in het huidige deel geïntroduceerd is (hoofdstuk 15, § 2). Wanneer de eerste hulpvraag op deze onderscheiding wordt toegepast, dan kom ik tot: *Welke kansen biedt het onderwijs in de schoolvakken natuur- en scheikunde aan leerlingen om niet alleen zingevend genieten en spelen te ervaren, maar ook zingevende verantwoordelijkheid, en zingevende dankbaarheid?*

De achtergrond van deze onderscheiding vormde het risico van volstrekt afschuiven van verantwoordelijkheid voor gebruik, dat inherent is aan disciplines die toepassingsneutrale kennis ontwikkelen. De positieve keerzijde van dit risico was de kans om zowel de voldoening te ervaren van creatieve kennisontwikkeling als de voldoening van een moreel-ethisch goed gebruik van deze kennis. Zingevende dankbaarheid kon een brugfunctie tussen deze beide voldoeningen vervullen, omdat dankbaarheid (voor wat mij 'doet leven' zonder dat ik daar zelf de hand in heb) kan inspireren om een creatieve bijdrage te geven aan het 'doen leven' van de/het andere (ruim opgevat).

De uitdaging, om in het onderwijs situaties te creëren die kansen bieden dat vorming in elk van deze drie dimensies betekenis krijgt voor leerlingen, ligt uiteraard opnieuw op het bord van leraren. Bovendien lijkt het mij duidelijk dat deze drie dimensies met terugwerkende kracht evenzeer relevant zijn voor mathematische²⁷⁸ als voor de fysische wetenschappen. Daarom is ondersteuning van vorming, die rekening houdt met deze drie dimensies, van belang voor het onderwijs in alle exacte vakken. In de volgende paragraaf zal ik daarom terugkomen op de vraag, hoe men zich in principe ondersteuning van vorming in deze drie dimensies voor kan stellen.

Voor de huidige paragraaf is de vervolgvraag aan de orde naar de identiteitskenmerken van schoolleiders, die eraan bij kunnen dragen dat deze drie dimensies van vorming in de exacte vakken aan bod komen (nog afgezien van ondersteuning). Het fundamentele identiteitskenmerk lijkt mij in dit verband te zijn, dat een schoolleider zich het vermogen heeft verworven om zowel de eigen vorming als die van anderen door de 'bril' van deze onderscheidingen te beschouwen, om zodoende in die vorming nuances en samenhangen te leren zien, en om op grond daarvan met deze nuances en samenhangen om te leren gaan, met name in verband met disciplines die zich toeleggen op het verwerven van toepassingsneutrale kennis. Zo kom ik tot het volgende identiteitskenmerk:

²⁷⁸ Denk bijvoorbeeld aan de in hoofdstuk 6 (§ 3) genoemde risico's van 'aanvullende AI' in de vorm van geautomatiseerde wapensystemen.

Dat de schoolleider intrinsiek gemotiveerd en in staat is

- + om verschillende soorten van zingevende ervaringen (zoals: zingevend spelen en genieten, zingevende verantwoordelijkheid en zingevende dankbaarheid), en daarmee corresponderende dimensies van vorming, bij zichzelf en bij anderen te herkennen, en
- + om zich een beeld te vormen van de onderlinge relaties tussen deze ervaringen en dimensies (bij zichzelf en bij anderen), en
- + om bewust met deze ervaringen en dimensies om te leren gaan, met name in verband met het verwerven van toepassingsneutrale kennis in exacte vakken en verantwoordelijkheid voor het gebruik daarvan.

Tenslotte moet ik hier nog een ander nieuw element noemen dat voor het eerst in het huidige deel geïntroduceerd werd, namelijk het filosoferen met leerlingen over natuurkunde. In de eerste plaats moet ook hierbij opgemerkt worden dat dit 'filosoferen over' evenzeer relevant is voor vakken zoals scheikunde, wiskunde en informatica, al werden die in dit verband nog niet genoemd. Het vertalen van dit element naar identiteitskenmerken van schoolleiders stel ik echter uit tot de volgende paragraaf omdat dit 'filosoferen over ...' in relatie tot deze schoolvakken vooral als doel heeft om thema's te bespreken die in verband met vorming van belang zijn. Dergelijke gesprekken zullen uiteraard ook bijdragen aan 'filosofische vorming' maar dat is niet het hoofddoel. Het gaat in deze gesprekken vooral om versterking van het bewustzijn en het onderscheidingsvermogen met betrekking tot de ervaringen, aspecten, en andere zaken, die in verband met 'fysische vorming' van belang zijn. Daarom komt dit nieuwe element pas ter sprake in het kader van ondersteuning.

1.d Opbrengst delen II en III

De complete opbrengst aan identiteitskenmerken in het verlengde van de eerste hulpvraag is nu:

Dat de schoolleider

1. zich kan voorstellen, en ook kan waarderen,
 - + dát de exacte vakken voor mensen, en dus ook voor leerlingen, positief- en negatief inspirerende ervaringen kunnen opleveren, en ook globaal weet
 - + welke ervaringen dat zijn, en welk vormgeverschap het onderwijs in de exacte vakken bij leerlingen in principe kan stimuleren;
2. een gefundeerd beeld heeft van de sterke kanten, beperkingen, verleidingen en risico's van de 'wiskundige bril' en van de 'fysische bril';
3. intrinsiek gemotiveerd en in staat is
 - + om verschillende soorten van zingevende ervaringen (zoals: zingevend spelen en genieten, zingevende verantwoordelijkheid en zingevende dankbaarheid), en

daarmee corresponderende dimensies van vorming, bij zichzelf en bij anderen te herkennen, en

- + om zich een beeld te vormen van de onderlinge relaties tussen deze ervaringen en dimensies (bij zichzelf en bij anderen), en
 - + om bewust met deze ervaringen en dimensies om te leren gaan, met name in verband met het verwerven van toepassingsneutrale kennis in exacte vakken en verantwoordelijkheid voor het gebruik daarvan;
4. intrinsiek gemotiveerd is om tegenwicht te bieden tegen verkokering en eilandvorming tussen schoolvakken, en daarom gemotiveerd en in staat is om in de school de samenwerking aan brede vorming ('Bildung') tussen de exacte vakken en andere disciplines te stimuleren en te ondersteunen;
 5. intrinsiek gemotiveerd en in staat is om in het schoolteam leiding te geven aan visieontwikkeling, op verbetering en vernieuwing van vorming-ondersteunende kwaliteit voor leerlingen, die voor de cultuurbijdrage van de exacte vakken een zingevend kader schept, en waarmee de schoolgemeenschap laat zien dat ook zij niet alleen schepsel maar ook schepper is van cultuur;
 6. intrinsiek gemotiveerd en in staat is om leiding te geven aan de ontwikkeling van een omringende 'schoolorganisatie', vooral met betrekking tot het gebruik van vruchten van de wiskundige discipline daarbinnen, die in overeenstemming is met de principes van vorming-ondersteunend onderwijs.

2 ONDERSTEUNING VAN VORMING

De tweede hulpvraag luidt:

Hoe kunnen schoolleiders zich voorstellen dat leraren de vorming van leerlingen ondersteunen, en dat zijzelf de vorming van leraren ondersteunen?

2.a Opbrengst deel II

In deel II werd uit het antwoord op de tweede hulpvraag de volgende verzameling van wenselijke identiteitskenmerken afgeleid (hoofdstuk 10, § 2.c / *Samenvatting*):

Dat de schoolleider

1. zelf ervaring heeft opgedaan in het 'met hart en ziel' ondersteunen van vorming van jonge mensen;
2. ook alert is op de valkuil van projectie, en met belangstelling openstaat voor de andere creatieve vormgevingen aan ondersteuning, die de leraren wiskunde van zijn school ontwikkelen;
3. intrinsiek gemotiveerd en in staat is om zijn voorstellings-arsenaal van de ondersteuning van vorming door leraren wiskunde uit te breiden door gebruik te maken van zoveel mogelijk bronnen van verschillende soort;

4. intrinsiek gemotiveerd en in staat is om authenticiteit te tonen en ontmoetingen te organiseren omdat hij beseft dat dit algemene kenmerken van ondersteuning zijn, die zowel gelden voor de vorming van leerlingen, als voor de vorming van leraren; en die hij als het 'gezicht van de school' moet uitdragen als essentiële waarden in de schoolcultuur;
5. intrinsiek gemotiveerd en in staat is om via coaching van een vaksectie wiskunde en een vakoverstijgend kernteam, zowel procesmatig als inhoudelijk bij te dragen aan de kwaliteit van teambezinning op:
 - + eerste mogelijkheden voor ondersteuning van vorming van leerlingen,
 - + verbetering van ondersteuning,
 - + vernieuwing van ondersteuning,
 - + zingevende kwaliteit van ondersteuning;
6. intrinsiek gemotiveerd is om vanuit zijn schoolleiderspositie, met een vaksectie wiskunde of vakoverstijgend team mee te denken over verbeteringen van voorwaarden en voorzieningen, die het realiseren van plannen en suggesties van het team kunnen ondersteunen;
7. zich realiseert dat ook de schoolcultuur als geheel een rol speelt in het ondersteunen van vorming, en daarom openstaat voor kritiek op schoolcultuur en schoolbeleid, ook wanneer deze kritiek zijn eigen rol betreft;
8. doordrongen is van het belang van integratie van alle teambijdragen tot een vormingsbeleid van de school als geheel; bereid en in staat is om leiding te geven aan die integratie; en in staat is een belangrijke bijdrage te geven aan de procesmatige en inhoudelijke kwaliteit van die integratie;
9. intrinsiek gemotiveerd is om zodanig richting te geven aan zijn eigen vorming, dat hij de bepaling van zijn eigen zone van naaste ontwikkeling steeds op tijd afstemt op de zones van naaste ontwikkeling die hij voorziet bij de leraren en de teams die hij begeleidt (o.a. leraren wiskunde en -teams), en bij de ontwikkeling van de school als geheel.

2.b Aanvullingen binnen eerder genoemde identiteitskenmerken

De tweede hulpvraag is in feite samengesteld uit twee vragen. Om op het spoor van wenselijke identiteitskenmerken te komen werden in deel II (hoofdstuk 10, § 2) deze vragen apart beantwoord, en bovendien werd elke vraag nog eens onderverdeeld in twee subvragen. Zodoende werd de tweede hulpvraag omgezet in een viervoudige vraagstelling:

- a. *Hoe kunnen schoolleiders zich voorstellen dat leraren wiskunde de vorming van leerlingen ondersteunen (eerstelijns-niveau)?*
 1. *Hoe kan een leraar wiskunde, als pedagogisch leider, ondersteunen dat leerlingen op school geïnspireerd worden?*
 2. *Hoe kan een leraar wiskunde, als pedagogisch leider, daarna het leren van zingevende ervaringen verder ondersteunen?*

- b. *Hoe kunnen schoolleiders zich voorstellen dat zijzelf de vorming van deze leraren ondersteunen (tweedelijns-niveau)?*
1. *Hoe kan een schoolleider, als (ped)agogisch leider, ondersteunen dát leraren wiskunde geïnspireerd worden om de vorming van leerlingen te ondersteunen?*
 2. *Hoe kan een schoolleider, als (ped)agogisch leider, daarna het leren van zingende ervaringen bij de leraren wiskunde van zijn school verder ondersteunen?*

Bovendien werd bij de beantwoording van de vragen onder b. nog eens onderscheiden tussen procesmatige en inhoudelijke ondersteuning, en tussen team-ondersteuning, schoolbrede ondersteuning en individuele ondersteuning.

Deze fijnmazige beantwoording van de tweede hulpvraag leidde tot de hierboven herhaalde opbrengst van negen identiteitskenmerken. Kennisname van deze identiteitskenmerken maakt al direct duidelijk dat zij allen ook relevant zijn met betrekking tot het onderwijs in natuur- en scheikunde. Al deze kenmerken kunnen daarom meegenomen worden in de eindopbrengst door alleen -waar nodig- 'wiskunde' te vervangen door 'exacte vakken'.

In het kader van deze sub-paragraaf zal ik nu alleen nog enkele van de belangrijkste overwegingen uit hoofdstuk 10 van deel II in herinnering roepen, omdat zij ook van belang zijn voor het (eerstelijns- en tweedelijns-) ondersteunen van vorming via het onderwijs in natuur- en scheikunde.

Het is ook bij het onderwijs in deze laatste vakken van belang dat leraren niet alleen de vorming ondersteunen van de leerlingen die zich ontpoppen als 'getalenteerde liefhebbers', maar ook van de leerlingen die natuur- en scheikunde (ondanks alle pogingen hen te inspireren) blijven ervaren als 'niet meer dan nuttig', of zelfs als 'noodzakelijk kwaad'. De leraren natuur- en scheikunde kunnen zich ervoor inzetten om in hun onderwijs elementen op te nemen die ook deze andere leerlingen kunnen inspireren (geschiedenis, filosoferen, ontmythologiseren van fysische zelfoverschattingen, et cetera).

Het is ook voor de leraren in deze vakken van belang dat de schoolleider in teamverband (vakgebonden en vakoverstijgend) uitwisselingen stimuleert waarin leraren reflecteren over de ondersteuning die voor hun eigen vorming belangrijk is geweest, over de vorming die zij bij hun leerlingen willen ondersteunen, over hun ervaringen met dit ondersteunen, over mogelijkheden om die ondersteuning te verbeteren, et cetera. Het is eveneens voor de leraren in deze vakken van belang dat de schoolleider op geëigende momenten verdieping van dergelijke reflecties kan stimuleren door middel van double-loop en triple-loop leren.

Tenslotte noem ik hier het belang van het inhoudelijke leiderschap van de schoolleider, in dienst van een schoolbrede integratie van teambijdragen tot een vormingsbeleid van de school als geheel. Daarbij werd genoemd dat de schoolleider die beleidsvorming wezenlijk kan ondersteunen door het introduceren van een conceptueel kader waarbinnen verschillende bijdragen 'op hun plek kunnen vallen' (hoofdstuk 10, § 2.b). Als kandidaten voor een dergelijk conceptueel kader werden genoemd:

- het inhoudelijke cohesieprobleem en zijn aanpak,
- de modelbenadering,
- de activiteitstheorie van Engeström.

Tegen deze achtergrond werd identiteitskenmerk 8 geformuleerd, en daarin met name: "in staat is een belangrijke bijdrage te geven aan (...) inhoudelijke kwaliteit van die integratie".

2.c Aanvulling met nieuwe identiteitskenmerken

De nieuwe elementen die de verkenningen in deel III hebben opgeleverd, en die aanvulling met extra identiteitskenmerken nodig kunnen maken zijn:

- het filosoferen met leerlingen over ... (hoofdstukken 14 en 15),
- de drie vormingsdimensies (hoofdstuk 15),
- de kennistheoretische beschouwingen, en het begrijpen van menselijke vermogens als resultaten van symbolische taalontwikkeling (hoofdstuk 14).

Daarom zal ik nu de tweede hulpvraag beantwoorden in verband met deze nieuwe elementen, en nagaan of zij op grond daarvan leiden tot identiteitskenmerken waarmee de bovenstaande verzameling moet worden aangevuld.

Filosoferen als eerstelijns-ondersteuning van vorming

De tweede hulpvraag luidt in dit verband:

Hoe kunnen schoolleiders zich voorstellen dat leraren de vorming van leerlingen ondersteunen door met hen te filosoferen over schei- of natuurkunde, en dat zijzelf de vorming van deze leraren in het filosoferen met leerlingen ondersteunen?

Filosoferen met leerlingen vormde een belangrijke 'rode draad' door de hoofdstukken 14 en 15, omdat eigen ervaringen mij overtuigd hebben van de ondersteuning die dergelijke gesprekken aan de vorming van leerlingen kunnen geven.

In dergelijke gesprekken wordt vorming, en alles wat daarmee te maken heeft, in taal uitgedrukt. En dat op-zich is al een krachtige vorm van ondersteuning. De inspirerende ervaringen die aanleiding geven tot vorming, de spannende, teleurstellende en voldoening gevende ervaringen die het vormgeverschap vervolgens oplevert, al die ervaringen krijgen namen. Het zorgvuldig geven van namen aan ervaringen maakt dat deze ervaringen 'op een voetstuk gezet worden'. Zoveel zorg en aandacht, om te beschrijven wat niet makkelijk in woorden te vangen is, maakt dat het belang van die ervaringen wordt onderstreept. En bovendien helpen de onderscheidingen die in taal gemaakt worden om ook in de eigen ervaringen scherper te onderscheiden. Taal helpt, ook wanneer het over vorming gaat, om scherper waar te nemen en duidelijker verbanden te zien. Daarom kunnen dergelijke gesprekken ondersteunen dat leerlingen het belang van hun eigen vorming duidelijker beseffen, die vorming sterker en duidelijker ervaren, en er meer van leren.

Maar, een leraar die de vorming van leerlingen wil ondersteunen door middel van filosofische reflectie moet ook zorg besteden aan de stijl van gespreksvoering. Het filosoferen *over* inspirerende ervaringen zal immers geen geloofwaardige inspiratie communiceren wanneer de stijl van het filosoferen zelf vooral oninspirerende ervaringen oplevert. Zoals hiervoor beschreven werd is taal(spel) zowel een interface voor communicatie *over* inhouden als een interface voor communicatie *met* anderen (pagina 498 e.v.). Wanneer communicatie-*met* een uitgesproken monologisch karakter heeft dan is interesse in het vormgeverschap van de ander afwezig, evenals elk streven om de ander inspirerende gesprekservaringen te bezorgen. Om een geloofwaardig gesprek *over* inspiratie te kunnen voeren zal de leraar zorg moeten dragen voor een dialogische stijl van gespreksvoering (pagina 507 e.v.). Een stijl waarbij de leraar zijn voorsprong in rede-neerkracht niet misbruikt om leerlingen tot door hem gewenste conclusies te dwingen, maar een stijl die hen aanmoedigt om te denken wat zij er zélf van denken, en om te ervaren wat zij zélf ervaren. Een stijl die gebaseerd is op een voorschot in vertrouwen op elkaars menselijke vermogens en oprechte intenties, op wederzijds respect, en op belangstelling voor elkaars inbreng. Zoals beschreven kan dialogische gespreksvoering niet alleen inhoudelijk goede resultaten brengen, maar ook de inspirerende ervaring opleveren dat de creativiteit van de één ten goede komt aan die van de ander en omgekeerd (pagina 509).

In een latere fase werd hieraan toegevoegd dat dialogische gespreksvoering, in de hier bedoelde zin, sportieve vormen van 'woordenstrijd' niet uitsluit. In tegendeel, zoals in de wetenschap discussie en oppositie kunnen bijdragen aan kwaliteit, zo kan dat ook in het onderwijs. Voorwaarde is alleen dat winnen niet het hoogste doel is, dat de strijd respectvol en sportief is, dat de spanning inspirerend is, en dat de kwaliteit van ieders bijdrage ermee gediend is (pagina 561 e.v.).

Bij dergelijke 'sportieve discussies' over zingeving en vorming in relatie tot exacte vakken kan bovendien een interessant verschil 'aan den lijve' ervaarbaar worden voor leerlingen. Het verschil, dat discussies *binnen* deze vakken, door de logische bewijskracht van een redenering, of de empirische bewijskracht van observaties, meestal beslist kunnen worden met een duidelijke uitkomst, maar dat dit bij discussies *over* de zin, de betekenis, of de waarde van deze vakken niet het geval is. Deze laatste discussies komen vaak uit op verschillen in ervaringen, of in persoonlijke voorkeuren, of in levensbeschouwelijke keuzes, die niet door argumenten beslist kunnen worden. De kunst en de kunde om met dergelijke blijvende verschillen tussen mensen om te gaan, kan ook weer een boeiend gespreksthema zijn.

Wanneer de leraar met behulp van dit filosoferen vooral 'vorming' op een voetstuk wil zetten, dan kunnen de onderscheidingen die in § 2 van hoofdstuk 15 geïntroduceerd werden goed van pas komen. Het lijkt mij dat leerlingen de verschillen tussen 'zingevend genieten en spelen', 'zingevende verantwoordelijkheid' en 'zingevende dankbaarheid' op hun niveau goed kunnen herkennen, en ook goed met eigen ervaringen kunnen verbinden. Wanneer de leraar daar zijn eigen ervaringen en zijn eigen ontwikkeling in het vak

naast zet, en verhalen vertelt uit de geschiedenis van zijn vak die eveneens dergelijke ervaringen illustreren, dan kunnen daar boeiende gesprekken uit voortkomen. Gesprekken die vorming ondersteunen omdat deze onderscheidingen de beeldvorming verrijken, en het belang van het onderwerp benadrukken, omdat de moeite genomen wordt om het in een rijke taal te 'articuleren'.

Uiteraard kan de leraar niet met dergelijke gesprekken volstaan. Die gesprekken kunnen niet alleen gaan over ervaringen van anderen, en in andere tijden, of over maatschappelijke consequenties in de buitenschoolse werkelijkheid, maar moeten ook kunnen aanknopen bij ervaringen die leraar en leerlingen zelf en samen hebben opgedaan in de praktijk van lessen in de exacte vakken. Het voeren van die gesprekken 'verplicht' de leraar om zodanig vorm te geven aan zijn vakonderwijs dat leerlingen zelf (een deel van) de inspirerende ervaringen kunnen opdoen, die in gesprek gethematiseerd kunnen worden²⁷⁹. Ervaringen, die zowel op het gebied van 'genieten en spelen', als op het gebied van 'zingevende verantwoordelijkheid', als op het gebied van 'zingevende dankbaarheid' kunnen liggen. Met betrekking tot de tweede categorie: het lijkt mij van belang dat een leraar in de exacte vakken aanleiding biedt en ruimte schept voor de mogelijkheid dat leerlingen zelf inspirerende verantwoordelijkheden ontdekken en op zich nemen²⁸⁰. Op die wijze kan de kans geboden worden dat zij zelf ook de synergie ervaren van de voldoening die ontdekkingen in een mooi vak opleveren, én de voldoening dat die ontdekkingen voor een zinvol doel gebruikt worden.

De versterkende wisselwerking tussen eigen ervaringen en gesprekken hebben leerlingen nodig om werkelijk te gaan begrijpen hoe en waarom mensen 'met hart en ziel' bij een exact vak betrokken kunnen raken. Op basis van dat begrip kunnen zij exploreren van welke aard hun eigen commitment met dit vak uiteindelijk kan zijn (een noodzakelijke kwaad, een nuttig instrument, of veel meer?).

Het is goed om in aanvulling hierop te vermelden dat er vanuit de overheid, met name in relatie tot de β -vakken, initiatieven genomen zijn om filosofische reflectie door leerlingen te bevorderen. In 1998 werd het vak *Algemene Natuurwetenschappen* ingevoerd voor Havo en Vwo. De oorspronkelijke bedoeling van dit vak was, dat alle leerlingen ingeleid zouden worden in de geschiedenis van de natuurwetenschappen en in wetenschapsfilosofische vragen. Maar, met ingang van 2007 zijn scholen niet langer verplicht om dit vak aan te bieden op Havo-afdelingen, en met ingang van augustus 2015 ook niet meer op Vwo-afdelingen. Vanaf het schooljaar 2015-2016 moeten scholen zelf bepalen

²⁷⁹ Een interessant voorbeeld biedt 'makersonderwijs', dat mede op initiatief van leraren natuurkunde geïnitieerd is. In een 'fabklas' doen leerlingen inspirerende ervaringen op met creatieve ontwerp- en maakprocessen, met relaties tot verschillende schoolvakken (Baneke, 2015).

²⁸⁰ In een 'fabklas' blijkt dat leerlingen niet alleen 'voor de lol' dingen willen maken, maar ook graag iets willen maken waar zij een ander mee kunnen helpen.

of zij dit vak willen aanbieden en voor welke leerlingen²⁸¹. Door leraren en kamerleden is tegen deze gang van zaken geprotesteerd, maar zonder succes (van Straaten, 2013). Hierbij moet, vanuit de hier verdedigde visie, aangetekend worden dat de gangbare strategie, om een aspect dat men in het onderwijs mist te vertalen naar de invoering van een nieuw schoolvak, zijn bezwaren heeft. Wanneer de eigen vakdocent in het 'normale' kader van zijn schoolvak de speelruimte heeft om, inspeland op gezamenlijke ervaringen, filosofische reflecties in te bouwen, dan kan de ondersteuning van vorming effectiever zijn, dan wanneer dergelijke gesprekken planmatig, volgens rooster, in een aparte setting zijn ondergebracht. Bovendien, zoals ook Biesta betoogt (2012, p. 32): de doelstelling om vorming te ondersteunen kan niet goed 'apart' bereikt worden. Dit doel gedijt het beste in samenhang met de andere onderwijsdoelen (kwalificatie en socialisatie). Tenslotte is het de vraag waarom nu vooral de β -vakken zouden vragen om begeleidende filosofische reflectie. Naar mijn visie vragen de andere schoolvakken met hetzelfde recht om dergelijke begeleidende reflecties.

Hiermee is bovendien het eerste deel van de tweede hulpvraag niet alleen beantwoord in relatie tot het eerste nieuwe thema van deel III (filosofen met leerlingen), maar ook al in relatie tot het tweede nieuwe thema van deel III: de onderscheiding van vorming in drie dimensies. Daarbij is ook duidelijk dat dit antwoord niet alleen geldt voor schei- en natuurkunde maar evenzeer voor wiskunde. Deze vakken kunnen bij de beantwoording van het tweede deel van de tweede hulpvraag samengevat worden als 'exacte vakken'.

Filosofen als tweedelijns-ondersteuning van vorming

Het tweede deel van de tweede hulpvraag kan daarom als volgt geformuleerd worden:

Hoe kunnen schoolleiders zich voorstellen dat zij leraren exacte vakken ondersteunen om leerlingen te ondersteunen met gesprekken over vorming in en rond hun vakken?

Het antwoord op deze vraag kan beginnen bij de aanname dat het ideaalbeeld van pedagogische schoolleiders zal inhouden dat de leraren van alle schoolvakken de vorming van leerlingen ondersteunen, onder andere met de hier bedoelde gesprekken. De ondersteuning die deze gesprekken bieden zal aan kracht winnen wanneer de leraren zich een gemeenschappelijke taal over vorming hebben verworven, zodat de leerlingen samenhang zullen ervaren in de gesprekken over dit thema die zij met verschillende leraren voeren.

Om te bereiken dat de leraren elkaar inspireren om het vorming-ondersteunende karakter van hun onderwijs te verbeteren, en om te bereiken dat zij daarbij een gemeenschappelijke taal verwerven, is het nodig dat zij onderlinge gesprekken voeren die aan deze doelen bijdragen. Een schoolleider kan zich daarom voorstellen dat hij de leraren exacte vakken uiteindelijk het beste kan ondersteunen, om dergelijke gesprekken met

²⁸¹ Zie <http://www.slo.nl/voortgezet/tweedefase/vakken/ANW/>.

leerlingen te voeren, door álle leraren daarin te ondersteunen via collegiale gesprekken. In het jargon van deze tijd: het stimuleren van dergelijke gesprekken valt onder het leiding geven aan een 'professionele leergemeenschap', en dit aspect van leiding geven behoort tot de verantwoordelijkheden van de schoolleider.

Het zich voorstellen van een dergelijk ideaalbeeld is een stap, die vervolgens vraagt om zich voor te stellen langs welke weg concrete stappen gezet kunnen worden in de richting daarvan. Het beeld van die weg is uiteraard afhankelijk van de voorgeschiedenis van de school en het team, van de fase van schoolontwikkeling, van het vormgevingsvermogen van teamleden en van de schoolleider, en van nog vele andere aspecten en omstandigheden. Het ontwikkelen van dit specifieke beeld is dus een taak die in iedere situatie door de betrokkenen zelf uitgevoerd moet worden. Over dit beeld kan in een studie als deze alleen iets gezegd worden in termen van algemene suggesties.

Tot die algemene suggesties behoren om te beginnen de voorstellingen van tweedelijns-ondersteuning die in deel II (hoofdstuk 10, § 2.b) al werden uitgewerkt. De nieuwe inhouden van dit deel impliceren in feite aanvullende suggesties voor de ondersteuning (c.q. leiding) die een schoolleider kan geven aan vaksecties exacte vakken, aan vakoverstijgende teams, en aan schoolbrede visie- en beleidsontwikkeling. Die aanvullende suggesties zal ik hieronder opnemen in een voorbeeld van een eerste ontwerp voor teamgesprekken:

- Kies een werkvorm die leraren aan het denken zet over hun eigen vorming, en die hen uitnodigt om elkaar daarover te vertellen. Het zal daarbij vooral gaan om de vorming die ertoe geleid heeft dat zij voor het leraarsberoep kozen en voor het leraarschap in een specifiek vakgebied, of, in het geval van leraren primair onderwijs, welke onderwijsinhouden zij zelf nog steeds als inspirerend ervaren. En, het zal daarbij ook belangrijk zijn om door te vragen over de ervaringen die het meest aan die vorming hebben bijgedragen.
- Om die ervaringen te kunnen ordenen en nader onder de loep te kunnen nemen, kunnen onderscheidingen geïntroduceerd worden:
 - + zoals de onderscheiding tussen positief inspirerende ervaringen, en negatieve ervaringen die toch aanleiding geven tot inspiratie, en
 - + zoals de onderscheiding tussen 'zingevend genieten en spelen', 'zingevende verantwoordelijkheid' en 'zingevende dankbaarheid'.

Meestal zal de introductie van dergelijke onderscheidingen er ook toe leiden dat de deelnemers meer inspirerende ervaringen kunnen noemen dan er in eerste instantie bij hen opkwamen. Het onderbrengen van de eigen ervaringen onder de geïntroduceerde categorieën kan veel verdiepende reflectie oproepen, zowel ten aanzien van de ervaringen als van de categorieën.

- Vervolgens kunnen de gesprekken gaan over de vraag, wie of wat hen vooral gestimuleerd en aangemoedigd heeft om van die inspirerende ervaringen te leren, en om zich op grond daarvan verder te ontwikkelen (hierbij kan het concept zone van naaste ontwikkeling verheldering brengen). Die gesprekken kunnen vervolgens aan-

leiding geven tot reflectie over de vraag wat de ondersteuning die zij zelf ervoeren effectief maakte.

- Daarna kan de focus van de gesprekken gericht worden op het onderwijs en de leerlingen. Een mogelijke vraag is dan wat zij als 'pedagogische leraar', gezien hun eigen vorming, vooral aan leerlingen willen doorgeven. Terugdenkend aan 'zingevende dankbaarheid' kan nagegaan worden of die hierbij een rol speelt, en of zij herkennen dat zij in een 'keten' of in een 'traditie' staan die een bepaalde levenswijsheid of levenswaarde aan volgende generaties wil doorgeven.²⁸² Daarbij kan ook gevraagd worden of zij de valkuil herkennen dat een leraar te sterk zijn eigen passies op leerlingen projecteert en vergeet dat niet iedere leerling de affiniteit kan of hoeft te hebben die de leraar heeft.
- Daarna kan het gesprek gaan over de vraag, of zij de verschillende categorieën van inspiraties kunnen illustreren aan voorbeelden of uitspraken uit de geschiedenis van het vakgebied dat zij onderwijzen. En, of zij een beeld hebben van de interacties tussen die inspirerende ervaringen en de gangbare mens- en wereldbeelden door de eeuwen heen. En tenslotte, hoe hun eigen commitment met hun vak zich verhoudt tot hun eigen mens- en wereldbeeld, en of (en hoe) zij dit alles ook met leerlingen willen bespreken.
- Tenslotte moeten dergelijke gesprekken uiteraard gaan over vragen zoals:
 - + hoe probeer je, door de inrichting van je onderwijs, leerlingen zoveel mogelijk kennis te laten maken met de inspirerende aspecten van het vak dat je onderwijst?
 - + hoe hou je daarbij ook rekening met de leerlingen voor wie jouw vak, ondanks alles, toch nooit meer dan nuttig, of een noodzakelijk kwaad kan zijn?
 - + zie je ook mogelijkheden om de vorming van leerlingen te ondersteunen door op hun niveau over je vak te filosoferen, zoals wij dat nu op teamniveau doen?
 - + et cetera ...

Het bovenstaande moet gezien worden als voorbeeld van een eerste ontwerp voor een serie 'workshops' met een lerarenteam. Dergelijke workshops zijn in onderwijsland niet geheel onbekend. Als externe begeleider heb ik zelf dergelijke workshops voor docenten verzorgd. Bij de betrokken docenten vielen dergelijke workshops in het algemeen in goede aarde. Zij hadden meestal veel waardering voor de gelegenheid om op deze wijze over hun werk te praten, en zich te verdiepen in belangrijke aspecten daarvan. Het pro-

²⁸² Bij een dergelijk 'nagaan' lijkt het mij essentieel om zo goed mogelijk te voorkomen dat een concept zoals 'zingevende dankbaarheid' een moraliserende invloed gaat uitoefenen. Een dergelijk concept moet zo zuiver mogelijk als een heuristisch concept functioneren, dat wil zeggen: wanneer dit concept mij, in verband met mijn ervaringen en mijn vorming, niets oplevert, dat betekent dat niet persé dat er iets niet in orde is met mijn vorming of mijn ervaringen, maar alleen dat dit concept mij op dit moment niets oplevert.

bleem was echter dat de schoolleiding meestal niet gemotiveerd (en/of in staat) was om zelf een dergelijk ontwerp te bedenken. De schoolleiders gaven vervolgens ook de verdere voorbereiding van dergelijke workshops uit handen, en in vervolg daarop ook de procesbegeleiding en de inhoudelijke begeleiding. Het uiteindelijke gevolg van al dit 'uit handen geven' was meestal dat de schoolleiding ook niet gemotiveerd en in staat was om iets te doen met de uitkomsten. Het waardevolle proces met de docenten kwam 'op dood spoor' tot stilstand. De goede gesprekken functioneerden uiteindelijk als niet meer dan een 'zoethoudertje'.

Een dergelijke gang van zaken wijst, in de termen van deze studie, op een gemis van identiteitskenmerken. Immers, wanneer schoolleiders het willen en kunnen ondersteunen van de vorming van hun leraren tot een kern van hun identiteit rekenen, dan is het 'hun eer te na' om veel uit handen te geven. Zij zullen om te beginnen zelf het eerste idee of ontwerp bedenken, om er zeker van te kunnen zijn dat het precies past bij de fase van schoolontwikkeling waar de school in verkeert, en bij de zone van naaste ontwikkeling die zij voor ogen zien. Zij zullen ook zelf nauw betrokken willen zijn bij de uitwerking van details, omdat zij daar zelf ook creatieve ideeën over hebben. Zij zullen zelf de begeleiding van workshops willen uitvoeren, om er zelf zorg voor te kunnen dragen dat zowel de procesmatige als de intellectuele kwaliteit wordt bereikt die zij beogen. Natuurlijk kunnen zij daar ook wel enkele leraren of externen bij betrekken, bij wie zij erop vertrouwen dat die precies begrijpen wat de bedoeling is, en dat die net als zijzelf in staat zijn om de beoogde kwaliteit te realiseren. Om het kostbare project te laten opleveren wat daarvan de bedoeling is, zullen zij voor geen prijs de regie uit handen geven.

Een andere opmerking is, dat er in de bovenstaande suggesties voor ondersteuning niets te vinden is dat exclusief afgestemd is op leraren exacte vakken. Dat lijkt mij ook logisch omdat de specifieke toepassingen op exacte vakken niet van de schoolleider moeten komen, maar van de betrokken leraren, die erkend en bevestigd moeten worden als professionals op hun onderwijsgebied. Het is wel van belang dat de schoolleider begrip heeft voor de zaken die deze leraren naar voren kunnen brengen, en daarover goede vragen kan stellen.

Kan de schoolleider in dergelijke gesprekken ook zijn eigen inspiratiebronnen, voorkeuren, overtuigingen en mens- en wereldbeelden naar voren brengen? Het lijkt mij dat het antwoord op deze vraag vergelijkbaar is met wat ik eerder opmerkte over de leraar te midden van zijn leerlingen (pagina 621). Wanneer de schoolleider de vorming van leraren wil ondersteunen dan moet hij enerzijds vermijden dat leraren hem gaan napraten vanwege zijn machtsoverwicht of intellectuele overwicht. Het gaat er tenslotte om dat ook zij leren van hun eigen zingevende ervaringen en zelf vormgeven aan hun leraarswerk en aan hun eigen denkwerk. Anderzijds is het ook belangrijk dat de leraren in hun schoolleider een voorbeeld ervaren van iemand die op grond van zijn zingevende ervaringen vorm geeft aan zijn schoolleiderswerk en aan zijn denkwerk. Dan kunnen zij zich vrij voelen om op inhoudelijke of andere gronden al dan niet gezag toe te kennen aan aspecten van zijn leiderschap, en zich daardoor al dan niet te laten inspireren.

Zoals ik in deel II al suggereerde kan het inhoudelijke leiderschap van een schoolleider bij schoolbrede integratie van teamopbrengsten, een iets ander accent krijgen²⁸³. Omdat het zó belangrijk is dat die integratie tot stand komt kan ik mij voorstellen dat een competente schoolleider, gehoord alle stemmen en alle voors en tegens, bij een niet-eenduidige uitkomst met een gezaghebbend voorstel komt voor het (voorlopig) vaststellen van een integrerend beleidskader²⁸⁴. Maar, ook het antwoord op de vraag of dat zo moet of kan, is voor een belangrijk deel afhankelijk van de schoolcultuur, van de voorgeschiedenis, en van de betrokken persoonlijkheden.

Met het bovenstaande heb ik nu de tweede hulpvraag beantwoord in het licht van de eerste twee nieuwe elementen van deel III die ik op pagina 620 noemde. Bij nader inzien laat ik nu het beantwoorden in het licht van het derde element achterwege. Natuurlijk gaf de uitkomst van mijn poging, om na te gaan of vele menselijke vermogens (inclusief de kennisontwikkeling door exacte disciplines) als resultaten van symbolische taalontwikkeling begrepen kunnen worden, mij veel voldoening. En het spreekt mij op grond daarvan sterk aan, om het ondersteunen van mens-wording via taalontwikkeling als opgave te zien voor alle schoolvakken (pagina 613). Een dergelijke visie kan echter niet het adequate antwoord zijn voor alle situaties. Wanneer ik zelf schoolleider zou zijn, en dit mijn visie is, dan zou ik moeten nagaan of het gezien de opbrengsten vanuit de teams, en gezien de ontwikkeling van de school, passend zou zijn om deze visie als kader voor te stellen. In die situatie zou ik mij minstens even sterk moeten laten inspireren door de actuele opbrengsten van de teamgesprekken, als door de inspirerende boeken van mijn favoriete denkers.

Bij mijn antwoord op de derde hulpvraag zal ik wel enige elementen uit de kennistheoretische verkenningen van hoofdstuk 14 in het spel brengen (zie § 3.c).

Aanvullend identiteitskenmerk

Uit de hierboven gegeven antwoorden op de tweede hulpvraag kan ik nu een aanvullend identiteitskenmerk afleiden. Het belangrijkste aanknopingspunt daarvoor is het hierboven geconstateerde gemis (pagina 626). Daarbij kan allereerst opgemerkt worden dat de motivatie en het vermogen, om teambezinningen over vorming en ondersteuning procesmatig te ondersteunen, al genoemd en van achtergrond voorzien werden in deel II. In dit opzicht hoeft er aan het reeds geformuleerde kenmerk 5 niets toegevoegd te worden. Het nieuwe element, dat geïmpliceerd is in het hiervoor uitgewerkte eerstelijns- en tweedelijns bezinnen op vorming en ondersteuning, is de motivatie en het vermogen van

²⁸³ Zie hoofdstuk 10, § 2.b / *Ondersteunen dát leraren wiskunde geïnspireerd worden / Inhoudelijk schoolbreed.*

²⁸⁴ Ik heb meegemaakt dat een schoolleider zo optrad, en dat dit voor het team zowel bevrijdend als inspirerend werkte.

een schoolleider om *inhoudelijk* zorg te dragen voor kwaliteit en verdieping van deze teamgesprekken, en om er tegelijk zorg voor te dragen dat zich in het schoolteam een gemeenschappelijke taal over vorming en ondersteuning ontwikkelt. Op grond hiervan kom ik tot het volgende identiteitskenmerk:

Dat de schoolleider intrinsiek gemotiveerd en in staat is om bij de hiervoor genoemde teamcoaching inhoudelijk aan kwaliteit bij te dragen, door te bevorderen dat een gemeenschappelijke taal geïntroduceerd en gebruikt wordt, die het mogelijk maakt om te onderscheiden tussen verschillende soorten van zingevende (c.q. inspirerende) ervaringen en tussen verschillende dimensies van vorming; met het doel dat deze taal het mogelijk maakt om de verschillende gedaanten van vorming en van ondersteuning beter te herkennen, te ordenen, en met elkaar in verband te brengen; en met het doel dat de leraren van verschillende vakken ook in hun gesprekken met leerlingen over vorming voor een groot deel dezelfde taal hanteren.

Omdat met dit nieuwe kenmerk de *inhoudelijke* bijdrage van de schoolleider aan teambezinning wordt benadrukt, zal ik dit 'inhoudelijke' in kenmerk 5 weglaten en daar alleen de procesmatige bijdrage laten staan.

2.d Opbrengst delen II en III

Met inachtneming van de conclusie van § 2.b, de hierboven genoemde aanvulling met een nieuw kenmerk, en het weglaten van 'inhoudelijk' in kenmerk 5, kom ik nu tot het volgende overzicht van wenselijke identiteitskenmerken:

Dat de schoolleider

1. zelf ervaring heeft opgedaan in het 'met hart en ziel' ondersteunen van vorming van jonge mensen;
2. ook alert is op de valkuil van projectie, en met belangstelling openstaat voor de andere creatieve vormgevingen aan ondersteuning, die de leraren exacte vakken van zijn school ontwikkelen;
3. intrinsiek gemotiveerd en in staat is om zijn voorstellings-arsenaal van de ondersteuning van vorming door leraren exacte vakken uit te breiden door gebruik te maken van zoveel mogelijk bronnen van verschillende soort;
4. intrinsiek gemotiveerd en in staat is om authenticiteit te tonen en ontmoetingen te organiseren omdat hij beseft dat dit algemene kenmerken van ondersteuning zijn, die zowel gelden voor de vorming van leerlingen, als voor de vorming van leraren; en die hij als het 'gezicht van de school' moet uitdragen als essentiële waarden in de schoolcultuur;
5. intrinsiek gemotiveerd en in staat is om via coaching van vaksecties exacte vakken, en via coaching van vakoverstijgend kernteams, procesmatig bij te dragen aan de kwaliteit van teambezinning op:

- + eerste mogelijkheden voor ondersteuning van vorming van leerlingen,
 - + verbetering van ondersteuning,
 - + vernieuwing van ondersteuning,
 - + zingevende kwaliteit van ondersteuning;
6. intrinsiek gemotiveerd en in staat is om bij de hiervoor genoemde teamcoaching inhoudelijk aan kwaliteit bij te dragen, door te bevorderen dat een gemeenschappelijke taal geïntroduceerd en gebruikt wordt, die het mogelijk maakt om te onderscheiden tussen verschillende soorten van zingevende (c.q. inspirerende) ervaringen en tussen verschillende dimensies van vorming; met het doel dat deze taal het mogelijk maakt om de verschillende gedaanten van vorming en van ondersteuning beter te herkennen, te ordenen, en met elkaar in verband te brengen; en met het doel dat de leraren van verschillende vakken ook in hun gesprekken met leerlingen over vorming voor een groot deel dezelfde taal hanteren;
 7. intrinsiek gemotiveerd is om vanuit zijn schoolleiderspositie, met een vaksectie exacte vakken of een vakoverstijgend team mee te denken over verbeteringen van voorwaarden en voorzieningen, die het realiseren van plannen en suggesties van het team kunnen ondersteunen;
 8. zich realiseert dat ook de schoolcultuur als geheel een rol speelt in het ondersteunen van vorming, en daarom openstaat voor kritiek op schoolcultuur en schoolbeleid, ook wanneer deze kritiek zijn eigen rol betreft;
 9. doordrongen is van het belang van integratie van alle teambijdragen tot een vormingsbeleid van de school als geheel; bereid en in staat is om leiding te geven aan die integratie; en in staat is een belangrijke bijdrage te geven aan de procesmatige en inhoudelijke kwaliteit van die integratie;
 10. intrinsiek gemotiveerd is om zodanig richting te geven aan zijn eigen vorming, dat hij de bepaling van zijn eigen zone van naaste ontwikkeling steeds op tijd afstemt op de zones van naaste ontwikkeling die hij voorziet bij de leraren en de teams die hij begeleidt (o.a. van leraren exacte vakken), en bij de ontwikkeling van de school als geheel.

3 ONDERZOEK

De derde hulpvraag, waaruit ook in deze paragraaf wenselijke identiteitskenmerken van schoolleiders worden afgeleid, luidt:

Kan men toetsend onderzoek inzetten ter verbetering van de ondersteuning van vorming op school, en zo ja, aan welke eisen moet zulk onderzoek voldoen?

Wanneer aan het einde van deze paragraaf deze derde hulpvraag beantwoord is, zal daarmee tegelijk het (voorlopige) eindpunt bereikt zijn van een belangrijke 'rode draad', die in deel I (hoofdstuk 2, § 4.b) bij het 'gevolgrijkeheidsprobleem' begon. Omdat het mij

belangrijk lijkt dat bij de afronding het gehele beeld van deze rode draad duidelijk is, geef ik nu eerst een overzicht van het verloop van deze rode draad.

3.a Het gevolglichheidsprobleem

De begripsbepalingen van het concept 'vorming' leidden in deel I tot de conclusie dat de samenhang tussen 'ondersteuning' en 'vorming' logischerwijze moest afwijken van het gangbare concept van causaliteit. Deze conclusie werd in het huidige deel III (hoofdstuk 16, § 3, p. 605) nog eens bevestigd door een vergelijking van deze samenhang met de ondertussen verder verduidelijkte fysische causaliteit.

Daarnaast lag ook de aanname, "dat de mogelijkheden om ondersteuning van vorming te verbeteren aanzienlijk toenemen wanneer adequaat toetsend onderzoek ingezet kan worden" (hoofdstuk 2, § 5.a) ten grondslag aan deze studie.

Deze twee premissen vormden de aanleiding tot drie vragen die samengevat werden met de naam 'gevolglichheidsprobleem' (hoofdstuk 2, § 4.b / *Aanvullende onderzoeksvragen*):

Kan de samenhang tussen 'ondersteuning' en 'vorming' beschouwd worden als een modus van gevolglichheid die vatbaar is voor toetsend onderzoek;

kan deze modus van gevolglichheid gepositioneerd worden te midden van andere modi van toetsbare gevolglichheid;

stelt deze modus van gevolglichheid specifieke eisen aan de werkwijze bij toetsend onderzoek?

Vervolgens werden in deel I de verkennende onderzoeken naar wiskunde en naar fysische wetenschap (als leden van de onderzoeksfamilie) aangekondigd, waarbij het doel om een voorlopig antwoord op het gevolglichheidsprobleem te bereiken, tot één van de onderzoeksdoelen behoorde. De stappen die tot dit doel moesten leiden werden gemarkeerd door:

1. De 'derde familiekwestie' (hoofdstuk 2, § 5.a): *Kan de samenhang tussen 'ondersteuning' en 'vorming' volgens dit familielid beschouwd worden als een modus van onderzoekbare gevolglichheid?*
2. De 'derde hulpvraag' (hoofdstuk 2, § 5.a): *Kan men toetsend onderzoek inzetten ter verbetering van de ondersteuning van vorming op school, en zo ja, aan welke eisen moet zulk onderzoek voldoen?*

3.b Opbrengst deel II

De eerste van de bovenstaande twee vragen werd in deel II beantwoord in hoofdstuk 9 (§ 3). Het uiteindelijk antwoord luidde:

Ja, sommige generieke aspecten van die samenhang kunnen beschouwd worden als wiskundig onderzoekbaar. En, wanneer wiskunde zich als gelijkwaardige partner opstelt

en ruimte voor andere benaderingen open laat, dan kunnen haar onderzoeksresultaten bijdragen aan inzicht, en aan de kwaliteit van de ondersteuning.

Hierbij moet aangetekend worden dat de 'andere benaderingen', waar ruimte voor open gelaten moest worden, gekenmerkt werden door een kennisinteresse die tegengesteld is aan de wiskundige kennisinteresse. Een kennisinteresse, "*die inhoudt dat kennis van unieke kenmerken de hoofdzaak is, en dat generieke kenmerken of concepten slechts van belang zijn voor zover zij nuttig zijn om de hoofdzaak te dienen*" (§ 3.d). Een voorbeeld van een dergelijk generiek concept was 'actorschap'. Een onderzoeker kan dit concept gebruiken om een kenmerk te benoemen dat hij 'contrafactisch verwacht', maar hij doet dit vooral om kennis te kunnen maken met de unieke manifestaties van actorschap die een kind kan laten zien.

Het antwoord dat in hoofdstuk 10 (§ 3) op de derde hulpvraagvraag gegeven werd kwam daarom neer op: *wanneer toetsend onderzoek (hopelijk) mogelijk is, dan moet dit wel gekenmerkt worden door een onderzoeksbenadering die ook deze tegengestelde kennisinteresse belichaamt*. Uit dit antwoord werden tenslotte de volgende wenselijke identiteitskenmerken afgeleid:

Dat de schoolleider

1. beseft dat passend onderzoek een belangrijke bijdrage kan geven aan verbetering van de ondersteuning van vorming;
2. daarbij ook beseft dat de bijzondere aard van de samenhang tussen ondersteuning en vorming een onderzoeksbenadering vereist die in zekere zin tegengesteld is aan de wiskundige benadering, zonder uit te sluiten dat wiskundig onderzoek een zinvolle aanvulling kan zijn op de eerstgenoemde 'teggengestelde' benadering.

Achtergrond

Een aantal aannames, opvattingen en keuzes, met betrekking tot 'vorming' en 'ondersteuning', afkomstig uit de delen I en II, vormden de achtergrond van deze opbrengsten. Ter herinnering volgt hier een beknopte opsomming:

- zingevende (of inspirerende) ervaringen fungeren als onmisbare bronnen voor vorming;
- daarom impliceert het ondersteunen van vorming door een leraar, dat deze zijn onderwijs zodanig vormgeeft dat daarbinnen voor leerlingen kansen gecreëerd worden om inspirerende ervaringen op te doen; daartoe moet een leraar wiskunde een beeld hebben van de ervaringen die in relatie tot zijn vak inspirerend kunnen zijn;
- naast positief inspirerende ervaringen kunnen ook 'negatief inspirerende ervaringen' onderscheiden worden; met dit laatste zijn negatieve ervaringen bedoeld waaraan, ondanks hun negativiteit, toch positieve inspiratie ontleend wordt;
- daarom impliceert het ondersteunen van vorming door een leraar ook, dat deze in zijn onderwijs aandacht geeft aan negatieve ervaringen die leerlingen in en rond zijn

onderwijs kunnen opdoen, en dat hij ondersteunt dat zij toch positieve inspiratie aan die ervaringen kunnen ontleen; daartoe moet een leraar wiskunde een beeld hebben van de negatieve ervaringen waar zijn vak aanleiding toe kan geven;

- veel van deze negatieve ervaringen hangen samen met beperkingen die eigen zijn aan het vak wiskunde (en informatica), en met het vergeten of ontkennen van die beperkingen; daarom is het van belang dat een leraar ook een beeld heeft van deze beperkingen en van de negatieve ervaringen die zij kunnen oproepen, en beseft dat zijn vak ter wille van een rijker werkelijkheids- en mensbeeld aanvulling nodig heeft;
- om uitdrukking te geven aan dit laatste besef, en in het belang van de vorming van zijn leerlingen, is het nodig dat de leraar wiskunde vakoverstijgende samenwerking met andere leraren aangaat;
- wanneer een leerling eenmaal geïnspireerd is, kan de leraar de vorming van deze leerling verder ondersteunen door te letten op diens zone van naaste ontwikkeling;
- ondersteuning van vorming functioneert volgens het paradigma van de dialoog, dat wil zeggen: de leraar creëert een verhoogt inspirerende situatie, en de leerling geeft een creatieve respons; en omgekeerd: de leerling komt met een creatieve actie, en de leraar wordt geïnspireerd om die te ondersteunen;
- daarom zal onderzoek naar de samenhang tussen 'ondersteuning' en 'vorming', indien zulk onderzoek mogelijk is, hoofdzakelijk een kennisinteresse moeten belichamen die aan de wiskundige kennisinteresse tegengesteld is.

3.c Derde hulpvraag

De verkenningen van deel III leiden niet tot veranderingen van de bovenstaande achtergrond-elementen. 'Wiskunde' kan in deze opsomming zonder meer vervangen worden door 'exacte vakken'. Als eerste stap naar een antwoord op de hulpvraag voor deze paragraaf (vraag 2 op de vorige pagina), zal ik nu eerst elementen opsommen waarmee de hierboven geschetste achtergrond vanuit de verkenningen van deel III aangevuld kan worden.

Aangevulde achtergrond

- Kennis is opbrengst (van ervaringen, van een leerproces, van onderzoek), die in één of andere vorm van 'geheugen' is opgeslagen, en die uit dat geheugen opgeroepen kan worden voor nieuw gebruik, uitwisseling, verbetering, vernieuwing, uitbreiding, et cetera;
 - + in taal geformuleerde kennis kan benoemd worden als 'articulate knowledge' of 'expliciete kennis'; niet in taal geformuleerde kennis kan benoemd worden als 'tacit knowledge';
 - + doelneutrale kennis kan benoemd worden als 'know what' of als 'kaartenkennis'; doelgerelateerde kennis kan benoemd worden als 'know-how' of als 'hand-

- leidingenkennis'; deze beide soorten van kennis kunnen zowel in expliciete vorm als 'tacit' opgeslagen zijn (in één van beide of in beide vormen);
- + vaardigheden die snel en/of onbewust uitgevoerd moeten kunnen worden berusten op tacit-geïntegreerde know-how en know-what;
 - + hogere-orde vaardigheden (om te handelen of waar te nemen) berusten op lagere-orde vaardigheden, die tijdens het uitvoeren van de hogere-orde vaardigheden 'tacit' (onbewust) moeten zijn;
 - + 'waarheid' kan beschouwd worden als kenmerk van 'know what' en als kenmerk van 'know-how'; in het eerste geval impliceert 'waarheid' dat de deducties die uit een 'kaart' afgeleid worden, corresponderen met (de kans op) directe waarnemingen; in het tweede geval impliceert 'waarheid' dat het gebruik van een 'handleiding' leidt tot (een kans op) het bereiken van een doel;
 - + in taal opgeslagen kennis fungeert als interface (als 'kunstmatig' verlengstuk van onszelf);
 - + kennisverbetering is in het algemeen het resultaat van wederzijdse verbeteringen die voortkomen uit interacties tussen kennis, waarnemen en handelen;
 - het zingevende karakter van het verwerven van fysisch inzicht kan door een 'destructieve terugslag' verloren gaan, wanneer het gebruik van doelneutrale fysische kennis destructieve effecten heeft op samenlevingen, humaniteit, of ecologie; anderszijds kan het zingevende karakter van het verwerven van fysisch inzicht versterkt worden door zingevende ervaringen met gebruik van deze kennis, dat samenlevingen, humaniteit en ecologie 'doet bloeien';
 - reflectie op deze 'destructieve terugslag', en op de constructieve keerzijde daarvan, kan leiden tot het onderscheiden van drie soorten van zingevende (inspirerende) ervaringen: zingevend genieten en spelen, zingevende verantwoordelijkheid, en zingevende dankbaarheid; elk van deze drie soorten kan beschouwd worden als inspiratiebronnen voor een dimensie van vorming;
 - bovendien leiden deze onderscheidingen tot indicaties voor verschillende vormen die ondersteuning van vorming kan krijgen;
 - de vorming van leerlingen kan ondersteund worden door gesprekken, waarin de verschillende soorten van inspirerende ervaringen in taal benoemd en onderscheiden worden; deze ondersteuning wint aan kracht naar mate het onderwijs kansen biedt om deze ervaringen daadwerkelijk op te doen, in hun verschillen te herkennen, en daarvan te leren;
 - indien men in een school op deze wijze de vorming van leerlingen wil ondersteunen, dan is het van belang dat de leraren zich een gemeenschappelijke 'vormingstaal' verwerven;
 - onderzoek naar de samenhang tussen ondersteuning en vorming zal niet het karakter hebben van fysisch onderzoek, omdat de eerste contouren van vormingstaal, die zich hier aftekenen, impliceren dat de essentiële aspecten van 'vorming' en van 'ondersteuning' alleen via 'betekeniswaarneming' waargenomen kunnen worden.

Gebruikmakend van de nieuwe elementen van deze achtergrond zal ik de derde hulpvraag nu beantwoorden, als slotsom van de delen II en III gezamenlijk. Deze hulpvraag luidt:

Kan men toetsend onderzoek inzetten ter verbetering van de ondersteuning van vorming op school, en zo ja, aan welke eisen moet zulk onderzoek voldoen?

Deze hulpvraag bevat twee vragen. Daarom zal ik nu beginnen met het beantwoorden van het eerste deel:

Kan men toetsend onderzoek inzetten ter verbetering van de ondersteuning van vorming op school?

Bestaande praktijk als uitgangspunt

In reactie op deze vraag herinner ik mij een bestaande praktijk, waarvan ik mij kan voorstellen dat die kan uitgroeien tot dergelijk onderzoek²⁸⁵.

In de eerste jaren van mijn loopbaan als leraar werkte ik op een betrekkelijk kleine school voor voortgezet onderwijs. Het was op die school de gewoonte om bij iedere rapportvergadering niet alleen de leerlingen met onvoldoendes te bespreken, of om alleen over cijfers en prestaties te spreken, maar om bij iedere leerling ook te bespreken hoe ieder van ons haar of zijn ontwikkeling zag, en wat wij daarvan dachten. Uiteraard kostte dit vrij veel tijd, maar ik herinner mij ook dat de meesten van ons het boeiend vonden om elkaars verhalen te horen, en te merken hoe onze leerlingen zich bij andere leraren en andere schoolvakken lieten zien. Deze vergaderingen dreigden voortdurend uit te lopen omdat wij de geboden gelegenheid graag gebruikten, en over onze leerlingen bijna niet uitgepraat konden raken.

Uiteraard is deze praktijk niet uniek. Ik neem aan dat dergelijke uitwisselingen tussen leraren nog steeds plaats vinden, bijvoorbeeld in het voortgezet onderwijs in kernteams die rond een gemeenschappelijk cluster van leerlingen geformeerd zijn, in het primair onderwijs in kleinere teams van leraren die samen het onderwijs voor een groep verzorgen, en in andere onderwijssoorten op vergelijkbare wijze.

De vraag die nu voorligt is dus: kunnen dergelijke gesprekken in principe uitgebouwd of ontwikkeld worden tot een voorbeeld van onderzoek naar de samenhang tussen 'ondersteuning' en 'vorming'? Om verschillende redenen zie ik perspectieven op een bevestigend antwoord:

- Wanneer de docenten zich een gemeenschappelijke taal over vorming eigen gemaakt hebben, zoals de taal over positief en negatief inspirerende ervaringen, en over de drie soorten van zingevende ervaringen en corresponderende dimensies van vorming, en zij bovendien in het licht van deze taal praktisch vorm proberen te

²⁸⁵ Met dank aan de Leergroep van het lectoraat Leren & Innoveren (Lector Marco Snoek, Hogeschool van Amsterdam), die in drie bijeenkomsten heeft meegezocht naar een geschikt voorbeeld.

geven aan het ondersteunen van de vorming van leerlingen in hun onderwijs, dan beschikken zij over een conceptueel kader (in eerste aanleg) dat kan helpen om het anekdotische niveau van uitgewisselde verhalen te verdiepen, en gericht naar samenhangen tussen ondersteuning en vorming te zoeken.

- In dit zoeken is dan de 'teggestelde kennisinteresse' duidelijk herkenbaar. Immers, de gesprekken beogen om zicht te krijgen op de unieke vorming van iedere leerling en om iedere leraar op ideeën te brengen over de bijdrage die hij aan de ondersteuning daarvan kan bieden. De variatie die gebruikt wordt om kennis te ontwikkelen is dan niet de variatie van kenmerken van een generiek object (zoals bij fysica), maar de variatie van contextafhankelijke en persoonsafhankelijke waarnemingen van de unieke ontwikkeling van één leerling; waarnemingen, die geïntegreerd worden tot een rijker beeld van die ontwikkeling, dan ieder van die waarnemers alleen kan vormen.
- Dergelijke gesprekken kunnen ook perspectieven op toetsingen openen:
 - + wanneer er tussen de verschillende beelden van verschillende leraren (schijnbare) strijdigheden bestaan, dan zal dit aanleiding geven tot kritische discussie; die beelden berusten immers op interpretaties, en dergelijke interpretaties zeggen soms meer over de waarnemende leraar dan over de waargenomen leerling; een belangrijk toetsingscriterium is dan, dat het geïntegreerde beeld in principe coherent moet zijn omdat het om de ontwikkeling van één en dezelfde leerling gaat; bij blijvende fricties of lacunes in de beeldvorming kan duidelijk worden dat het team bepaalde relevante aspecten van de vorming van een leerling niet kent of niet begrijpt, en dan kan dit om nader onderzoek vragen;
 - + op grond van ditzelfde criterium kan het al dan niet coherente beeld van de leraren kritisch getoetst worden aan het beeld van de ouders, aan het beeld dat de leerling van zichzelf heeft, en aan de beelden die leerlingen van elkaar hebben;
 - + er zijn ook beeldelementen die 'analytisch' getoetst kunnen worden aan het vormingsdoel; "zij heeft gewoon geen fantasie" is bijvoorbeeld een interpretatie die alleen al door haar determinerende karakter de vorming van de betrokken leerling eerder zal blokkeren dan ondersteunen;
 - + het 'rijkere beeld' van de vorming van een leerling zal zowel bij individuele leraren, als wellicht ook in het team, betere ideeën oproepen over de ondersteuning die een bijzondere leerling kan helpen; wanneer de leraren expliciteren op grond van welke samenhang zij denken dat deze leerling deze ondersteuning nodig heeft, kunnen dergelijke ideeën uitgewerkt worden tot gesitueerde hypothesen; de ervaringen met de uitvoering en gevolgen van deze ondersteuning kunnen vervolgens aanleiding geven tot kritische interpretatie, en tot gevolgtrekkingen die de plausibiliteit van de hypothese verzwakken of versterken.
- Zowel het 'rijkere beeld' van de vorming van iedere leerling, als de inzichten die in de loop van de tijd door het team verworven worden, met betrekking tot 'vorming' en 'ondersteuning', kunnen verder verrijkt, gecorrigeerd en verbeterd worden, wanneer zij in de vorm van documentatie in een toegankelijk 'extern geheugen' opgesla-

gen worden; die documentatie vormt dan een expliciet 'kennis-arsenaal' dat voortdurend gebruikt en verbeterd kan worden.

- Ik kan mij voorstellen dat de ontwikkeling van bovengenoemde inzichten ook zal leiden tot verbeteringen van de 'vormingstaal' en het conceptuele kader (correcties, uitbreidingen, aanscherpingen); daarnaast kunnen uitwisselingen met andere scholen, of met organisaties buiten het onderwijs, inspireren tot verbeteringen; en omgekeerd kan ook de 'buitenwacht' geïnspireerd worden door de 'vormingstaal', het conceptuele bouwwerk, de praktijk, en de resultaten van het originele team.
- Een consultatie van twee experts (de Zeeuw en Vahl)²⁸⁶ over de vraag, of een dergelijke praktijk perspectieven biedt op ontwikkeling tot onderzoek, leidde tot de conclusie dat deze perspectieven er inderdaad zijn, maar dat er wel aan een aantal eisen voldaan moet worden, om de kwalificatie als 'onderzoek' te verdienen. De Zeeuw verwees mij bovendien naar een artikel van zijn hand, waarin hij 10 praktijken opsomt die op vergelijkbare gronden perspectieven bieden op uitbouw naar onderzoek (2011a, pp. 5-8), met als belangrijkste kenmerken:
 - + dat de deelnemers samenwerken om sociaal relevante taken uit te voeren, en
 - + dat zij zich er op goede gronden voor inspannen om in hun taakuitvoering een hoge kwaliteit te bereiken (2011a, p. 10).

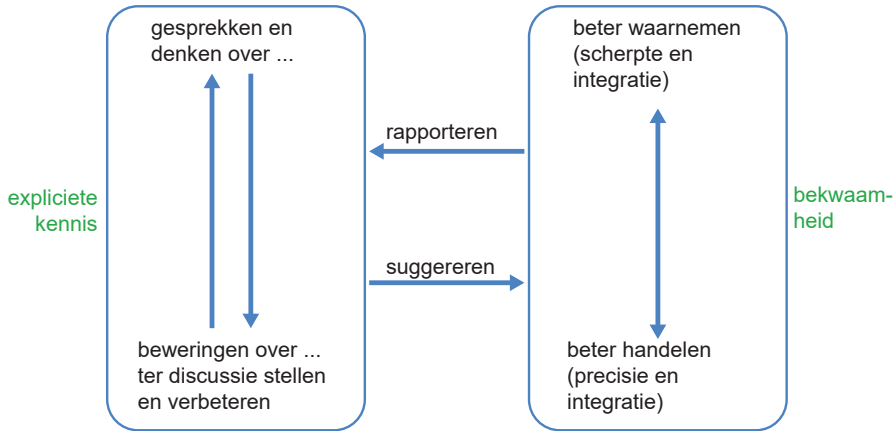
Om nu verder na te gaan of deze praktijk tot onderzoek ontwikkeld kan worden zal ik een eerste ontwerp voor het proces van kennisontwikkeling uitwerken, en nagaan welke soorten van kennis daarbij betrokken zijn.

Kennisontwikkeling

Het proces van kennisontwikkeling zal in dit geval moeten bijdragen aan praktijk-verbetering. Het ontwerp van dit proces zal daarom in belangrijke mate op deze doelstelling afgestemd moeten zijn. Dit proces moet bijvoorbeeld in ieder geval 'doelgerelateerde kennis', ofwel know-how opleveren. Daarnaast kan echter 'doelneutrale kennis', ofwel 'know-what', ook nog steeds van belang zijn, omdat deze kennissoort in het algemeen bij verbeteringen eveneens als hulpbron fungeert. Bovendien moet rekening gehouden worden met het onderscheid tussen expliciet in taal geformuleerde kennis, en impliciete 'tacit knowledge'. In figuur 37 heb ik in beeld gebracht hoe men zich een cyclisch proces van kennisontwikkeling kan voorstellen.

²⁸⁶ Deze twee experts waren Gerard de Zeeuw en Martha Vahl, die op 27 februari 2016 samen met mij de onderzoeksperspectieven van het bovengenoemde praktijkvoorbeeld verkenden. De Zeeuw is een internationaal gerespecteerd methodoloog en onderzoeker, met een lange staat van dienst. Van zijn vele publicaties noem ik in dit verband slechts enkele (de Zeeuw, 2001, 2010; Groen, Kersten, & de Zeeuw, 1980). Vahl is eveneens een onderzoeker met een lange staat van dienst, en met veel publicaties waarvan ik hier ook slechts enkele noem (Vahl, 1994, 2004).

Figuur 37



Toelichting:

- Het linkervak betreft de sfeer waarin het accent ligt op expliciete kennis. Daartoe behoren gesprekken, zoals de teamgesprekken uit het voorbeeld. In die gesprekken kunnen ervaringen met vorming en ondersteuning ter sprake komen, en kunnen allerlei beweringen daarover ingebracht worden. Om de risico's van spraakverwarring te verminderen, om zich op 'vorming' en 'ondersteuning' te kunnen concentreren, en om -zoals ik betoogde- te bevorderen dat de teamleden over deze zaken ook met leerlingen in één taal communiceren, kan het team gebruik maken van onderzoek dat erop gericht is om een weldoordachte taal over vorming en ondersteuning te ontwikkelen. Om te beginnen kan deze taal aan filosofisch onderzoek ontleend zijn, zoals in deze studie het geval is, maar op den duur zal deze taal zich verder ontwikkelen op grond van de praktijkervaringen die het team opdoet.

Deze taal zal zowel doelneutrale kennis belichamen (die men ook zou kunnen gebruiken om vorming te verhinderen) als doelgerelateerde 'know-how'. Bij dit laatste kan bijvoorbeeld gedacht worden aan: indien vorming op inspirerende ervaringen gebaseerd is, en exacte wetenschappers benadrukken dat vooral de ervaring van creatieve intuïtie inspirerend is, dan kan een leraar kansen op vorming bieden door aan leerlingen vraagstukken voor te leggen die hen uitnodigen om hun intuïtie te gebruiken.

Wanneer schoolteams erin slagen om beweringen over vorming en ondersteuning te toetsen, dan zal dit leiden tot verbetering van die beweringen. Van die verbeteringen zal dan weer gebruik gemaakt worden in de teamgesprekken over vorming en ondersteuning. Vandaar de heen- en weergaande pijlen in het linkervak.

- Bij de pijl die van het linker- naar het rechtervak wijst staat 'suggereren'. Zoals in deel II, aan de hand van auteurs zoals Smedslund en De Boer (hoofdstuk 8, § 2) werd betoogd, moeten practici de ruimte krijgen om vanwege hun 'tegengestelde kennisinteresse' (hoe kan *ik*, *nú*, *déze* leerling ondersteunen) maatwerk te maken van

beweringen die noodzakelijk in té algemene termen geformuleerd zijn. Een practicus kan niet uit de voeten met strikte 'voorschriften', maar heeft de ruimte nodig van 'suggesties'. De know-how die als input dient voor het rechtervak kan daarom getypeerd worden als 'suggestie-kennis', in onderscheid van 'voorschrift-kennis'.

Het rechtervak betreft de sfeer waarin practici met de taal en de suggesties vanuit het linkervak aan het werk gaan, om hun *bekwaamheid* in het ondersteunen van vorming te oefenen en te verbeteren. Daarbij kunnen de taal en de suggesties hen helpen om zowel in waarnemen als in handelen scherper te onderscheiden, en om ook deelwaarnemingen en deelhandelingen tot grotere gehelen te verenigen (zie hoofdstuk 14, § 6.c). Op den duur ontstaan zodoende *vaardigheden* (pagina 633), waarin steeds meer 'know-what' en 'know-how' als impliciete kennis in een onbewuste onderlaag zijn opgenomen. Daardoor kunnen deze vaardigheden snel, intuïtief en effectief functioneren zonder dat de vaardige practicus zich hoeft te concentreren op de onderliggende 'know-what' en 'know-how'. De vaardige leraar kan bijvoorbeeld met openheid voor het bijzondere van iedere leerling en van ieder lesmoment waarnemen hoe leerlingen de kracht van hun intuïtie al dan niet ontdekken en gebruiken, en zelf intuïtief bepalen hoe hij hen daarbij kan ondersteunen²⁸⁷.

Het handelen van een bekwame leraar houdt uiteraard meer in dan alleen intuïtieve acties. Hij zal belangrijke gronden en overwegingen met leerlingen communiceren, en afstemmen met behoeften, bedoelingen, et cetera, die leerlingen in zijn richting communiceren. En ook daarnaast zal zijn handelen berusten op allerlei afwegingen, redeneringen en keuzes (onder andere in voorbereiding vooraf en evaluatie achteraf). Hij zal bewust suggesties vertalen in werkvormen, en nadenken over spelregels, of ervoor kiezen om met een nieuwe benadering te experimenteren, zijn ervaringen met benadering x vergelijken met die van benadering y, en keuzes maken voor de toekomst (bijvoorbeeld: "dit overkomt mij geen tweede keer", of: "dat ga ik vaker proberen"). Bij dit alles zal hij zijn ondersteuningsacties steeds evalueren in het licht van acties van leerlingen die hij als teken van 'vorming', als teken van het tegendeel, of als teken van weerstand tegen vorming interpreteert.

- Bij de pijl die van het rechter- naar het linkervak wijst staat 'rapporteren'. Daarmee is bedoeld dat de ervaringen die zijn opgedaan voor zover mogelijk in taal geformuleerd worden, en gebrachd worden in de gesprekken en kritische discussies van

²⁸⁷ In het rechtervak is maar één dubbele pijl tussen handelen en waarnemen opgenomen, omdat waarnemen en handelen elkaar enerzijds beïnvloeden, maar anderzijds waarnemen tegelijk deel uitmaakt van het handelen.

het linkervak²⁸⁸. Aan die ervaringen kunnen, indien gewenst en mogelijk, ook rapportages van leerlingen, rapportages van waarnemingen door collega's, of audiovisuele registraties worden toegevoegd.

- In het linkervak kunnen deze rapportages op verschillende manieren aan kennisontwikkeling bijdragen:
 - + in het licht van het doel om van het vormingsproces van iedere leerling een 'rijk' beeld te ontwikkelen en steeds te actualiseren, kunnen nieuwe ervaringen uit verschillende onderwijscontexten nieuwe elementen aan dit beeld toevoegen;
 - + de nieuwe informatie kan een toetsende functie vervullen ten aanzien van eerdere hypothesen omtrent het vormingsproces van de leerling of omtrent de ondersteuning die daarbij gewenst zou zijn.
 - + het vergelijken van eigen ervaringen met die van een ander kan nieuwe vragen of hypothesen oproepen; een leraar kan bijvoorbeeld zeggen "ik heb ook geprobeerd wat jij vertelde, en bij mij werkte het niet, maar nu ik jouw verhaal heb gehoord vermoed ik waarom het bij mij niet werkte";
 - + het onderling vergelijken van ervaringen kan leiden tot (vermoedens van) onderscheidingen tussen unieke en meer generieke samenhangen; een team komt bijvoorbeeld tot de conclusie "dit is een tactiek die bij ons allemaal lijkt te werken, en dat is een benadering, die werkt alleen bij Johan, zijn leerlingen en zijn vak";
 - + et cetera.
- De rapportages kunnen zodoende aanleiding geven tot gesprekken en kritische discussies, en deze kunnen weer leiden tot nieuwe suggesties waarmee de leraren in hun eigen onderwijs aan de slag kunnen.

Een belangrijk kenmerk van deze cyclus is, dat de leraren zich primair inspannen om hun eigen ondersteuning van vorming te verbeteren, en kennis op te doen die hen daarbij helpt. Die kennis hoeft niet generaliseerbaar te zijn. Ook als een deel van die kennis alleen geldt 'voor mij en mijn leerlingen in mijn vak' dan is dat geheel in orde en is het goed om dit te weten. De opgedane kennis mag dus sterk *gesitueerde kennis* zijn.

Het onderling uitwisselen en bediscussiëren van rapportages, en het vastleggen daarvan in een gemeenschappelijk kennis-arsenaal heeft echter alleen zin wanneer in

²⁸⁸ Een goed voorbeeld van een dergelijke rapportage geeft Hester IJsseling in haar blog van 4 januari (2016). Het voorbeeld staat in de context van het onderwijs in de Nederlandse taal. Hester IJsseling geeft een mooi voorbeeld van de manier waarop zij ondersteunt dat de negatieve ervaringen die een dyslecticus bij taal(onderwijs) opdoet, toch omgezet kunnen worden in inspiratie. Voor haar rapportage gebruikt zij de aan Biesta ontleende taal van de drie dimensies van onderwijs (kwalificatie, socialisatie, persoonsvorming), die ook in deze studie als uitgangspunt genomen is. In haar rapportage wordt zodoende duidelijk dat, zeker in deze casus, het ondersteunen van vorming niet los gezien kan worden van het realiseren van de andere twee doel-dimensies.

ieders gesitueerde kennis ook meer generieke elementen te vinden zijn, die ook andere teamleden kunnen helpen. Deze meer generieke elementen (of vermoedens daarvan) leiden tot de suggesties waar ieder teamlid weer zijn eigen maatwerk van kan maken.

De kennis die een team op deze wijze opdoet is opnieuw *gesitueerd*, in de zin van 'gebonden aan de specifieke situatie van dit team'. Maar, bij uitwisselingen tussen verschillende teams kan weer blijken dat er in deze gesitueerde kennis weer meer generieke elementen te vinden zijn, waar ook andere teams hun voordeel kunnen doen. Deze ontdekking kan aanleiding geven tot het vormen van een schoolbreed kennisarsenaal.

Enzovoorts: wanneer vorming-ondersteunende scholen hun gewonnen inzichten uitwisselen, dan kunnen er elementen aan het licht komen die voor al die scholen bruikbaar zijn ... wanneer vorming-ondersteunende scholen hun inzichten uitwisselen met andere organisaties die vorming belangrijk achten dan ...

De hier beschreven kennisontwikkeling laat overeenkomsten, maar ook interessante verschillen zien met de kennisontwikkeling van exacte natuurwetenschap:

- in de fysische wetenschap wordt ook gestreefd naar generieke kennis door stapsgewijze generalisering, maar daar is het verkrijgen van deze generieke kennis het hoogste doel; gesitueerde kennis van bijzondere instanties van een 'generiek systeem' dient slechts als hulpmiddel om tot generieke kennis te komen;

in de hierboven geschetste kennis-cyclus is het verkrijgen van gesitueerde kennis het hoogste doel, en dienen generieke suggesties slechts als hulpmiddel om betere gesitueerde kennis te ontwikkelen;

- in de fysische wetenschap wordt aan generieke kennis de eis gesteld, dat gesitueerde kennis logisch gededuceerd (gereconstrueerd) kan worden uit generieke kennis; in een aantal gevallen leidt deze deductie tot een toevalsverdeling; de term 'toeval' impliceert echter dat de verschillen tussen mogelijke uitkomsten niet verklaard kunnen worden uit specifieke kenmerken van een specifieke casus;

de hierboven geschetste kennis-cyclus gaat uit van de aanname dat generieke suggesties niet zomaar toegepast kunnen worden, omdat een bijzondere situatie bijzondere informatie bevat die in generieke kennis (in een suggestie) niet geïmpliceerd is, en die dus aan de generieke kennis toegevoegd moet worden om tot een adequate toepassing te komen.

Conclusie en vervolgstappen

De derde hulpvraag, waarop ik met de inhoud van deze en de vorige sub-paragraaf reageerde, luidde (zie pagina 634):

Kan men toetsend onderzoek inzetten ter verbetering van de ondersteuning van vorming op school, en zo ja, aan welke eisen moet zulk onderzoek voldoen?

In het licht van deze vraag heb ik nu bereikt, dat ik mij *een proces van kennisontwikkeling* kan voorstellen dat bijdraagt aan verbetering van de ondersteuning van vorming op school. Maar, op de vraag of een dergelijk proces van kennisontwikkeling ook een kwali-

ficatie als 'toetsend onderzoek' kan verdienen, en aan welke eisen het daartoe moet voldoen, heb ik nog geen antwoord.

Een belangrijk element dat ik nog nader onder de loep moet nemen om de derde hulpvraag geheel te beantwoorden is 'toetsing'. Dit element is essentieel omdat het, zoals uit de vraagstelling blijkt, een directe relatie heeft met 'verbetering'. Maar, het ligt ook voor de hand dat antwoorden op nadere vragen naar toetsing (wat houdt toetsing precies in, en hoe moet toetsing uitgevoerd worden?) mede afhankelijk zijn van de modus van gevolglijkheid die aan de orde is. Daarom lijkt het mij goed om nu terug te komen op het 'gevolglijkeidsprobleem' uit deel I (geciteerd op pagina 630), waarin twee 'voorvragen' nog voorafgingen aan de vraag naar de eisen waaraan dergelijk onderzoek moet voldoen. Deze voorvragen luidden:

Kan de samenhang tussen 'ondersteuning' en 'vorming' beschouwd worden als een modus van gevolglijkheid die vatbaar is voor toetsend onderzoek;

kan deze modus van gevolglijkheid gepositioneerd worden te midden van andere modi van toetsbare gevolglijkheid?

Om uit te komen bij de eisen waar het toetsende onderzoek naar ondersteuning en vorming aan moet voldoen, zal ik de bovenstaande voorvragen van het gevolglijkeidsprobleem gebruiken als tussenstappen. Dit zal resulteren in een gedachtegang die uit vier stappen is opgebouwd:

1. Samenvatting van het tot nu toe ontwikkelde beeld van de gevolglijkheid die aan de orde is bij ondersteuning en vorming.
2. Beantwoording van de vragen naar de aard van de toetsingen die bij deze gevolglijkheid passen, en naar de wijze waarop deze toetsingen uitgevoerd worden.
3. Beantwoording van de vraag hoe deze modus van gevolglijkheid en toetsing gepositioneerd kan worden ten opzichte van fysische gevolglijkheid en toetsing.
4. Beantwoording van de vragen, naar de eisen waar toetsing in dienst van ondersteuning van vorming aan moet voldoen om met recht 'onderzoek' te mogen heten, en naar de overige eisen waar dergelijk onderzoek aan moet voldoen.

Deze vier stappen zullen zodoende niet alleen een (voorlopig) antwoord op de derde hulpvraag opleveren, maar ook op het gevolglijkeidsprobleem uit deel I.

1. Beeld van gevolglijkheid

Als eerste stap zal ik het tot nu toe ontwikkelde beeld van de samenhang tussen ondersteuning en vorming samenvatten. Het uitgangspunt van mijn beschouwingen was vorming, als het leren om zich tot en als originele vormgever te ontwikkelen²⁸⁹. In de filosofische beschouwingen van het huidige deel werd 'subjectwording' geïntroduceerd als

²⁸⁹ Waarbij werd aangetekend dat zowel een individu als een gemeenschap subject (of actor) van vorming kan zijn (deel I, hoofdstuk 2, § 3.a).

synoniem van 'vorming' (hoofdstuk 15, § 2.c). Gevolglijkheid kwam (in deel I) aan de orde in de aanname dat er een bijzondere categorie van ervaringen is, inspirerende ofwel zingevende ervaringen, die met vorming (subjectwording) samenhangen. In figuur 38 is een 'gevolglijkheidspijl' naar twee kanten opgenomen omdat ervaringen het kenmerk 'inspirerend' pas 'verdienen' indien zij vorming oproepen²⁹⁰. Er is sprake van wederzijdse implicatie: inspirerende ervaringen impliceren vorming, en vorming impliceert dat ervaringen een inspirerend karakter hebben. Inspirerende ervaringen werden vervolgens nog nader onderscheiden in positief en negatief inspirerende ervaringen.

Figuur 38

inspirerende ervaringen (pos / neg) <-> vorming

In het huidige deel (hoofdstuk 15, § 2) werd literatuur besproken waarin bovenstaande aanname met fenomenologische analyses werd onderbouwd, en waarin op grond daarvan bevestigd werd dat bijzondere ervaringen samenhangen met subjectwording. Bovendien werden op grond van deze literatuur nadere onderscheidingen geïntroduceerd, die ertoe leidden dat inspirerende ervaringen werden onderverdeeld in drie soorten²⁹¹. Die drie soorten ervaringen correspondeerden met drie 'dimensies'²⁹² van vorming (subjectwording).

Figuur 39

spelen en genieten	<->	egocentrische subjectwording
verantwoordelijkheid	<->	gedecentreerde subjectwording
dankbaarheid	<->	genereuze subjectwording

Ondersteuning berust volgens Burggraave (2015a, pp. 120-126) op verantwoordelijkheid. De opvoeder wordt geïnspireerd door het ethische appél dat uitgaat van de kwetsbare vorming van een kind, en neemt verantwoordelijkheid voor ondersteuning daarvan. Corresponderend met de eerste en de tweede dimensie van vorming kan deze verantwoordelijkheid weer onderscheiden worden in:

- verantwoordelijkheid voor ondersteuning van het 'leren genieten en spelen', en

²⁹⁰ De gevolglijkheid heeft in dit geval het karakter van een betekenis-samenhang.

²⁹¹ Waarbij binnen iedere soort ook de negatieve variant kan voorkomen.

²⁹² Ter wille van het schema moest ik de drie dimensies kort typeren. Voor de eerste koos ik 'egocentrisch' omdat het Nederlandse 'egocentrisch' minder afkeurend klinkt dan een letterlijk uit het Frans vertaald 'egoïstisch'. Voor de tweede koos ik 'gedecentreerd' omdat het losgeslagen worden van het Zelf als centrum van alles volgens Levinas een cruciaal aspect is. Voor de derde koos ik 'genereus' omdat zingevende dankbaarheid resulteert in motivatie voor en voldoening in 'geven'.

- verantwoordelijkheid voor ondersteuning van het 'leren van ethische onderbreking' (hoofdstuk 15, § 2.d, p. 547).

De daarop volgende reflectie over 'dankbaarheid' (hoofdstuk 15, § 2.e) leidde tot de conclusie dat zingevende dankbaarheid ook tot de ervaringen behoort die een actor tot ondersteuning motiveren. Deze dankbaarheid motiveert tot het doorgeven van een geschenk 'dat mij deed leven' ten einde op mijn beurt een ander 'te doen leven'. Dankbaarheid én het appél dat uitgaat van de kwetsbare vorming van een opvoeding, versterken elkaar als motieven voor ondersteuning. Omdat dankbaarheid ook een deugd is, die weliswaar op aangeboren vermogens gebaseerd is, maar die in een leerproces verder ontwikkeld kan worden (van Tongeren, 2015a, pp. 67-78), kan aan de bovengenoemde verantwoordelijkheden nog een derde toegevoegd worden:

- verantwoordelijkheid voor ondersteuning van het 'leren van dankbaarheid'.

Figuur 40

ondersteunende actor	zich vormende actor	
ondersteuning o.g.v.	-> spelen en genieten	<-> egocentrische subjectwording
verantwoordelijkheid	-> verantwoordelijkheid	<-> gedecentreerde subjectwording
+ dankbaarheid	-> dankbaarheid	<-> genereuze subjectwording

In figuur 40 zijn éénrichtingspijlen getekend als weergave van de gevolglichheid tussen ondersteuning en vorming. De reden daarvoor is het kenmerk, dat een ondersteunende actie oprecht bedoeld kan zijn om vorming te ondersteunen, en om die reden een ondersteunende actie genoemd mag worden, zonder dat het zeker is dat die ondersteuning ook werkelijk leidt tot een inspirerende ervaring en subjectwording van de andere actor. Ondersteuning en vorming impliceren elkaar dus niet wederzijds, zoals hierboven het geval was bij inspirerende ervaringen en vorming.

2. Kanaliseren en toetsen

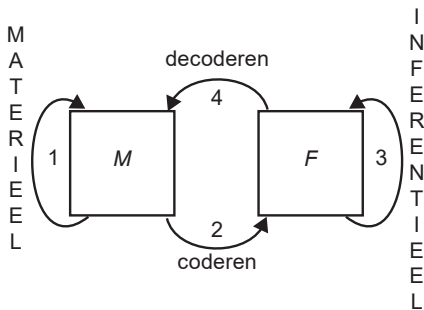
Om te begrijpen wat 'toetsing' kan inhouden in de context van de gevolglichheden die zojuist zijn samengevat, kan ik de vergelijking gebruiken met 'toetsing' in de context van de gevolglichheid waar fysische wetenschap zich op concentreert.

Bij fysisch onderzoek

Die laatste context werd in beeld gebracht in de eerste figuur die in dit deel te vinden is (pagina 322). De onderzoeker concentreert zich op een materieel systeem-in-omgeving, waarvan hij aanneemt dat hij het als mechanisme kan beschouwen. Een voorbeeld daarvan was het 'vrij vallende systeem' (VVS). Het object van onderzoek is in de fysica meestal niet een individueel systeem, maar een specifieke verzameling van systemen. Het VVS is een generiek object van onderzoek. Wat de onderzoeker vervolgens doet, is het gebruiken (en ontwikkelen) van een bijzonder *taalspel* dat hem in de eerste plaats dwingt om zijn *ervaringen* van het object in te perken tot *waarnemingen* en zijn waarne-

mingen in te perken tot *observaties* van *meetbare* kenmerken van het object-systeem (hoofdstuk 12, § 2). Dankzij al die inperkingen kunnen deze observaties vertaald worden (pijl 2) in de eveneens sterk ingeperkte 'variabelentaal' van model *F*. Een essentiële inperking van die taal houdt in, dat zij binnen het model volkomen gezuiverd is van alle semantiek, en dat de onderzoeker alleen op grond van syntactische regels met deze taal mag 'spelen' (hoofdstuk 5, § 3.c). Volgens de regels van dit spel kan de onderzoeker uit de waarden van 'onafhankelijke variabelen' gevolgtrekkingen afleiden (als een semantisch blinde slaaf of machine) omtrent 'afhankelijke variabelen' (pijl 3). Tenslotte kan de onderzoeker de aldus berekende waarde van een afhankelijke variabele weer vertalen in een voorspelling omtrent een observatie (meting) van het kenmerk dat in het object-systeem met deze variabele correspondeert. De uitvoering van die laatste meting (observatie), *ofwel pijl 1, dát is de toetsing van het model*. Die toetsing is cruciaal voor fysische wetenschap. Wanneer een model deze toetsing doorstaat dan kan de kennisontwikkeling verder gaan op basis van dit model, en zo niet, dan moet dit model eerst verbeterd worden tot het wél deze toetsing gaat doorstaan. Op deze wijze hangt *toetsing* in de fysische wetenschap samen met *verbetering*.

Figuur 41



Zoals ik aan de beschouwingen van onder andere Sizoo toelichtte (hoofdstuk 13, § 2.e) kan men uit het bovenstaande concluderen dat fysische kennisontwikkeling resulteert uit het verenigen van 'subjectieve' en 'objectieve' bijdragen. De onderzoekers (het subject) dragen het complete taalspel aan, en het materiële systeem (het object) draagt de gegevens aan die de observaties (metingen) opleveren. De kennisvorming berust, anders gezegd, op *interactie*. Het object heeft in die interactie weliswaar niet veel te vertellen²⁹³, het mag uiteindelijk alleen maar zeggen "het klopt" of "het klopt niet", maar die bescheiden inbreng is wel essentieel.

De Zeeuw introduceert in verband hiermee een concept dat het mogelijk maakt om een vergelijking te maken, tussen fysisch onderzoek en (kandidaat-)onderzoek naar

²⁹³ Daarom kan deze interactie vergeleken worden met een 'derdegraads verhoor' (de Boer, 1980, p. 78).

zulke zaken als 'vorming' en bijbehorende gevolgtrekkingen (2011a, 2011b). Dat concept is 'kanalisering' ('channeling'). Met behulp van dit concept kan gesteld worden dat fysieke kennisontwikkeling te danken is aan een specifieke, consequent volgehouden, *kanalisering* (ofwel inperking) *van de interactie* tussen subject en object van onderzoek. En toetsing is een essentieel element van die gekanaliseerde interactie.

Bij vormings-onderzoek

Wanneer fysisch onderzoek niet het doel is, maar onderzoek naar vorming en ondersteuning, dan ligt het eerste verschil op het niveau van de funderende aannames waarop dergelijk onderzoek gebaseerd zal zijn.

Vormings-onderzoek (als het bestaat) moet uitgaan van het postulaat²⁹⁴ dat het voorwerp van onderzoek een *actor* is, die als *oorsprong* kan fungeren van een breed spectrum van acties.

Dit postulaat impliceert dat vormings-onderzoek een situatie vereist waarin:

1. aan deze actor eigen acties *ontlokt* worden (in vaktermen: *ge-eliciteerd* worden),
2. en deze eigen acties tegelijk *gekanaliseerd* worden om onderzoek mogelijk te maken.

Om herkenbare en benoembare patronen of samenhangen te kunnen ontdekken moet er voldoende variëteit aan acties ge-eliciteerd worden, en tegelijk moet die variëteit ingeperkt worden tot hanteerbare variëteit. De onderzoeker moet bij vormings-onderzoek in het algemeen zelf in actie komen om zorg te dragen voor adequaat eliciteren en kanaliseren (de Zeeuw, 2011b, p. 7).

Stel nu dat er op een basisschool een team gevormd is rond de leerlingen uit groep 4 en dat dit team besloten heeft om uit te vinden hoe het ondersteunen van de vorming van deze leerlingen met behulp van onderzoek verbeterd kan worden. Stel bovendien dat dit team van het bovenstaande postulaat en zijn implicaties kennis genomen heeft en besloten heeft om het 'eliciteren' en 'kanaliseren' als richtlijnen te hanteren.

Het is dan mogelijk dat het eerste idee, dat bij de teamleden opkomt, een bekende spelvorm voor de taal is, die met enige aanpassing tot dergelijk onderzoek uitgebouwd kan worden. Die spelvorm heet 'elfjes maken', en kan als volgt beginnen:

²⁹⁴ In verband met de term 'postulaat' zij herinnerd aan de beschouwingen van Smedslund en De Boer hierover (hoofdstuk 8, § 2; hoofdstuk 14, § 6.d). Ook De Zeeuw verwijst naar deze funderende aanname (2011b, p. 7).

Een leraar komt tijdens een taalles in april met het volgende voorstel: *Het voorjaar komt er aan, we zien op allerlei plekken bloemen uit de grond komen, we horen de vogels weer zingen, en daar word ik blij van. Jullie ook? ... Het lijkt mij leuk om samen 'elfjes' te gaan maken om de komst van het nieuwe voorjaar te vieren. Ik geef jullie een paar voorbeelden. Het is niet erg moeilijk om 'elfjes' te maken, ik denk dat jullie dat allemaal kunnen, en ik ben erg benieuwd naar de elfjes die jullie gaan verzinnen. Het lijkt mij nog leuker als jullie die 'elfjes' ook nog versieren met een tekening of met kleuren, en dat we die dan allemaal ophangen in de klas en aan elkaar voorlezen en uitleggen. Ik zorg dan voor iets lekkers om te eten en te drinken; we kunnen er voorjaarsversjes bij zingen, en zo kunnen we dan vieren dat het voorjaar er weer aankomt*²⁹⁵.

Figuur 42

lente
de zon
het is vrijdag
morgen naar het bos
eindelijk

Bij dit voorbeeld kunnen nu de volgende vragen gesteld worden: *Kan deze activiteit ook als onderzoeksactiviteit fungeren; welke elementen moet je dan extra aandacht geven; hoort daar ook kritische toetsing bij?*

Antwoorden:

- Net als bij een fysisch experiment wordt interactie (tussen leraar en leerlingen, en tussen leerlingen onderling) *gekanaliseerd* tot een beperkt 'taalspel'. Omdat die kanalisering (mede) gekozen is om kennisvorming mogelijk te maken, van en rond de ontwikkeling van vormgevend vermogen bij leerlingen, kan dit een reden zijn om deze werkvorm als een vorm van onderzoek te beschouwen.
- Het 'taalspel' dat de docent introduceert is gericht op het eliciteren en kanaliseren van vormgeverschap op taalgebied. De leerlingen worden nu niet benaderd als kinderen die correct en gangbaar taalgebruik moeten aanleren (kwalificeren en socialiseren), maar als creatieve scheppers van taal. Deze gerichtheid kan fungeren als onderzoeksmatig vereiste focus op de 'derde dimensie' van onderwijskwaliteit²⁹⁶.
- De eenmaal op gang gebrachte interactie moet zichzelf en de acties van alle deelnemers (inclusief de leraar) blijven eliciteren en kanaliseren -of liever nog- steeds beter gaan eliciteren en kanaliseren. Deze beoogde interactie kan zichzelf in stand houden en versterken als concentratie op de gemeenschappelijke taak, die -als het goed gaat- door de deelnemers steeds meer gewaardeerd wordt. Maar, de kanalisering²⁹⁷ kan ook verwateren, ontaarden, of verloren gaan, bijvoorbeeld wanneer sommige leerlingen elkaars bijdragen 'afkraken' en de situatie voor elkaar onveilig

²⁹⁵ Dit voorbeeld is hier gekozen omdat het opnieuw een voorbeeld geeft van een bestaande praktijk (na de leerlingbesprekingen van pagina 634), die kan uitgroeien tot onderzoek naar 'vorming' en 'ondersteuning', en die mij uit eigen ervaring bekend is.

²⁹⁶ Zie deel I (hoofdstuk 1, § 3) voor de op Biesta's werk geïnspireerde indeling in drie 'dimensies' van functies en doeldomeinen van onderwijs.

²⁹⁷ Vanaf hier reken ik het 'eliciteren' gemakshalve tot het 'kanaliseren'.

maken. Omdat het voor de hand ligt dat er een nauw verband bestaat tussen de kwaliteit van het collectieve kanaliseringproces en de kwaliteit van de resultaten, zal de leraar zich ervoor inzetten om dit proces te volgen en waar nodig bij te sturen. Wanneer dit proces zich positief ontwikkelt, dan zullen ook de leerlingen gaan deelnemen aan dit volgen en bijsturen, en zal de kanaliserende interactie zich gaandeweg handhaven en verbeteren²⁹⁸.

De Zeeuw (2011a, p. 10) verwijst in dit verband terecht naar het spelconcept van Huizinga (1952). Zingevend spel²⁹⁹ heeft als kenmerk dat het deelnemers absorbeert, en dat zij -tijdelijk- andere belangen, contexten en motieven 'buiten spel' zetten. Van dit kenmerk kan de leraar gebruik maken door aan het 'elfjes-project' een spelkarakter te geven³⁰⁰. De leraar maakt dan gebruik van het aangeboren talent van jonge mensen om te spelen, en om aan het spelen op-zich al voldoening te ontnemen.

- De leerlingen *rapporteren* hun aandeel in het onderzoek naar hun vormgevend vermogen door het voorlezen van hun gedicht en het toelichten van hun gedicht plus versiering.
- Dankzij de kanalisering kunnen de producten van de leerlingen *vergeleken* worden. In de eerste plaats vanuit de voorgestelde *taak* om de komst van het voorjaar te vieren. Bij elk elfje kan gevraagd worden wat het aan deze viering bijdraagt, en bijvoorbeeld welk gevoel (over de lente) het oproept.

Verder kan de leraar de leerlingen stimuleren om de elfjes en tekeningen op verschillende kwaliteitsdimensies te beoordelen (grappig, duidelijk, mooi einde, ...). Het kan soms ook bijdragen aan de feestvreugde om samen te bepalen welk elfje een prijs verdient op één of meer van die categorieën³⁰¹. Dergelijke vergelijkingen kun-

²⁹⁸ Zie (de Zeeuw, 2011a, 2011b) en (de Jong, 2006).

²⁹⁹ Zie ook mijn eerdere bespreking daarvan in hoofdstuk 15 (pagina 527 e.v. en voetnoot 216).

³⁰⁰ Een typerende ervaring van omkering in hiërarchie van waarden of doelen kan bevestigen dat het gelukt is om de deelnemers in de 'spelmodus' te krijgen. Buiten het spel kan de ontwikkeling van het taalvermogen het hoogste doel zijn, en het elfjes-spel 'een nuttig middel' om dit doel te dienen, maar *binnen* het spel ligt het omgekeerd. Het bijdragen en meedoen aan een feestelijke viering van het voorjaar wordt het hoogste doel, en het ontwikkelen van taalvaardigheden komt van pas omdat het nuttig is voor dit doel (zie ook deel I, hoofdstuk 2, § 3.a / *Kenmerken en termen*). Omdat kinderen in het algemeen goed in staat zijn om het verschil tussen 'gewone-' en 'spelwerkelijkheid' te herkennen en te begrijpen zullen zij er in het algemeen geen moeite mee hebben om ook zelf deze omkering te begrijpen.

³⁰¹ De vergelijkingsmethoden, zoals het toekennen van prijzen, woordbeoordelingen of cijfers, zijn uiteraard ook vormen van nadere kanalisering waar zorgvuldig mee omgegaan moet worden (wat wil je ermee bereiken? en waarom denk je dat deze methode daaraan bijdraagt?). Ook deze interacties kunnen bijdragen aan een gemeenschappelijke focus (op kwaliteit) die voldoening geeft, of ontwaarden in de bekende negatieve vormen van vergelijken die het eigen vormgeverschap van leerlingen eerder ontmoedigen dan aanmoedigen.

nen eraan bijdragen dat de leerlingen aandacht geven aan elkaars producten, hun onderscheidingsvermogen verbeteren, onderling feedback geven en ontvangen, en daar veel van leren.

- Wanneer het elfjes-spel inspireert en absorbeert, dan wordt het voor de leerlingen een doel-in-zichzelf. Maar, van buiten gezien, werd dit spel met een pedagogisch doel geïntroduceerd. Wanneer dit pedagogische doel als onderzoeksdoel wordt beschouwd dan kan gesteld worden dat het elfjes-spel als doelen heeft:
 1. om een specifiek aspect van het vormgevende vermogen van leerlingen *aan het licht te brengen* (zowel voor de leraar als voor de leerlingen), en
 2. en om aan die ontdekking *suggesties* voor verbetering te ontleen
 - voor de leerlingen: suggesties voor verdere ontwikkeling van hun vormgevend vermogen
 - voor de leraar: suggesties voor verdere ontwikkeling en verbetering van kanalisering-methoden
- Hoe kan het bereiken van het eerste doel *getoetst* worden? In een gesprek met leerlingen *over* het spel kunnen vragen aan de orde komen zoals: "kreeg je er zin in om zelf zo'n elfje te maken, direct aan het begin of al doende?", "vond je het de moeite waard om er je best voor te doen?", "is het je gelukt?", "ben je trots op het resultaat?", et cetera. Kortom: aan de hand van *rapportages van ervaringen*³⁰² van leerlingen kan (en moet) *getoetst* worden of dit doel bereikt is, en in welke mate. Daar komen dan uiteraard de ervaringen van de leraar nog bij. Die kan in zo'n gesprek rapporteren aan welke ervaringen hij gemerkt heeft dat de leerlingen in staat waren om zelf vorm aan elfjes te geven, en waarom hij trots op hen is.

Een voor de hand liggende toetsing van de voldoening die leerlingen aan dit spel beleefd hebben, is de vraag of dit spel voor herhaling vatbaar is. Wanneer een spel leerlingen inspireert dan zullen zij het nog vele malen willen herhalen.

De *kwaliteiten* van het bereiken van het eerste doel zijn in het vergelijkende gesprek in principe al *getoetst* aan ervaringen. Daarbij is het in de eerste plaats van belang dat de *producten* worden vergeleken en niet de makers, en in de tweede plaats dat het uitgangspunt duidelijk is, dat mensen verschillende voorkeuren en talenten hebben en dat ook 'taal' voor de één inspirerend, voor de ander nuttig, en voor de derde een noodzakelijk kwaad is. Daarom is het logisch dat bijvoorbeeld bij de één kwaliteit meer in de tekening te herkennen is, en bij de ander meer in het elfje.

Het toetsen van het bereiken van doelen en kwaliteiten aan *ervaringen* kan de vraag oproepen naar de *validiteit* van dergelijke toetsingen. Hoe weten de leerlingen en de leraar dat zij toetsen wat zij willen toetsen? In antwoord daarop kan gesteld worden dat ervaringen, evenals waarnemingen en observaties, verbeterd kunnen worden in een iteratief proces met verbetering van kennis, en door verbetering van

³⁰² 'Ervaringen' nemen nu de plaats in van 'observaties' in de fysica (de Zeeuw, 2011a, 2011b).

integratie met andere ervaringen. De vergelijking met pijn-ervaringen³⁰³ kan dit verduidelijken. Sporters bijvoorbeeld, voor wie pijnsignalen heel belangrijk zijn, verbeteren hun ervaringen van die signalen, in een iteratief proces met kennisname van verschillende pijnervaringen, met ervaringen van anderen, met verfijndere mogelijkheden om pijn in taal te beschrijven, met medisch-fysiologische kennis, et cetera. Door de context te verbeteren waarbinnen zij hun pijnervaringen plaatsen, kunnen zij deze ervaringen verbeteren³⁰⁴, en er ook beter mee omgaan (bijvoorbeeld: bij welke pijn moet je direct stoppen met trainen, en aan welke pijn hoef je niet veel aandacht te geven). Zodoende kan men de validiteit van ervaringen verbeteren. Over *betrouwbaarheid* van ervaringen kan een overeenkomstige reactie gegeven worden.

Op het gebied van het waarderen van kwaliteit en het bereiken van doelen zullen er altijd verschillen tussen mensen blijven bestaan, omdat de individuele contexten blijven verschillen, maar door het gemeenschappelijk en herhaaldelijk iteratief verbeteren van ervaringen aan contexten, en contexten aan ervaringen, kunnen verschillende 'ervaarders' het voorlopig eens worden over resultaten en kwaliteiten die in het licht staan van een gemeenschappelijke taak of interesse³⁰⁵. Dit 'voorlopig eens worden' is te vergelijken met het 'voorlopig eens worden' van fysische observatoren over observaties en over fysische kennis (de Zeeuw, 2011a, 2011b).

- Het bereiken van het tweede onderzoeksdoel, kan bijvoorbeeld getoetst worden door aan de leerlingen te vragen of zij op ideeën gekomen zijn over de kwaliteit die zij bij een volgend elfjes-project zouden willen bereiken, en hoe zij dat zouden willen aanpakken. Daarnaast kan de leraar ook op suggesties gekomen zijn die hij aan leerlingen zou willen meegeven, en deze suggesties kunnen onderdeel zijn van de feedback die hij aan leerlingen geeft.

Het bereiken van het tweede aspect van het tweede onderzoeksdoel is vooral voor de leraar belangrijk. Het vinden van een goede kanalisering-methode luistert heel nauw. De kanalisering moet precies passen op de actuele vermogens van de leerlingen (niet te hoog en niet te laag ingeschat), en moet daarnaast niet te breed (oeverloos) en niet te smal (keurslijf) zijn om de goede speelruimte voor hun creativiteit af te bakenen. Bovendien zijn de leerlingen onderling verschillend qua affini-

³⁰³ Zie bijvoorbeeld (van Cranenburgh, 2000, pp. 30-81).

³⁰⁴ Een gangbare uitdrukking is: "ik kan mijn ervaring beter interpreteren", maar aangezien 'interpreteren' een onlosmakelijk aspect is van 'ervaren', is "ik kan mijn ervaring verbeteren" een meer precieze uitdrukking. En vervolgens: aangezien 'interpreteren' geïmpliceerd is in 'ervaren', en 'betekenis' sterk context-afhankelijk is (Vermeulen, 2007), kan een ervaring verbeterd worden door de context te verbeteren.

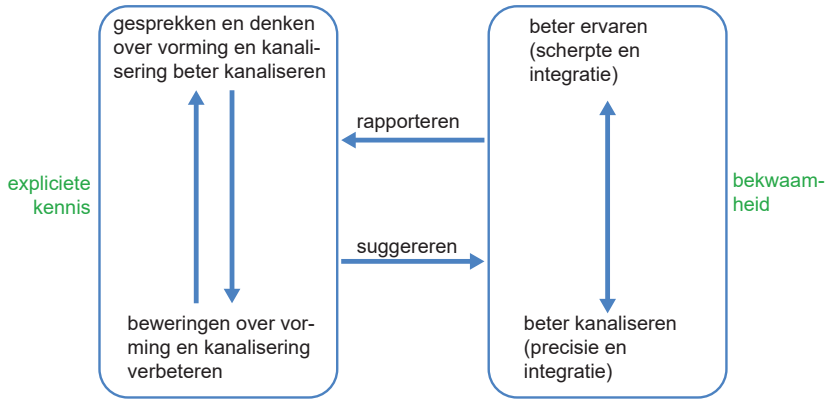
³⁰⁵ Die blijvende verschillen in waardering kunnen slechts duidelijk worden in de mate waarin ook duidelijk wordt dat die verschillen betrekking hebben op een gemeenschappelijk gewaardeerde referent. Communicatie-onderzoekers noemen dit proces van zoeken en vinden van 'het gemeenschappelijke' in de referenten '*grounding*' (H. H. Clark & Brennan, 1991).

teit met en talent voor taal, en daarom moet de kanalisering ook ruimte bieden (maar niet te veel) voor die verschillen. Bovendien moet de leraar nadenken over de aanpassingen die kanalisering een volgende keer nodig heeft, omdat de leerlingen dan weer verder zijn in hun ontwikkeling.

Ik kan mij voorstellen dat het voor een leraar exacte vakken (primair- of voortgezet onderwijs) lastiger is dan voor een taal-leraar om een bestaande werk- of spelvorm te vinden, die uit te bouwen is naar vormings-onderzoek. Er bestaan voor deze vakken wel een groot aantal spelen en spelletjes, die gebruikt kunnen worden om allerlei vaardigheden te oefenen, maar de spel-externe doelen liggen daarbij meestal in de richting van kwalificeren. De kanalisering is vaak te nauw voor het eliciteren van eigen vormgevend vermogen; of de kanalisering maakt het vergelijken van uitingen van vormgevend vermogen (wanneer dat wel meespeelt) niet goed mogelijk. Ik kon daarom zelf niet op korte termijn een geschikte bestaande werkvorm vinden, wat uiteraard niet uitsluit dat er wel degelijk mogelijkheden zijn. De creativiteit die leraren en ontwikkelaars demonstreren met het bedenken van opgaven, en van dergelijke spellen, bracht mij bijvoorbeeld op het idee, dat een leraar rekenen/wiskunde/fysica aan leerlingen kan voorstellen om een leuk uitdagend probleem te bedenken dat aan medeleerlingen ter oplossing voorgelegd kan worden. Er kan ook gedacht worden aan een variant op de bèta-coaches (Pijls, 2012), waarbij de coaches aangemoedigd worden om leerzame opdrachten te bedenken voor de leerlingen uit de lagere klassen die zij begeleiden. Tenslotte noem ik hier het 'modellenwerk' van Van Joolingen (2016), dat wellicht ook aanknopingspunten biedt. Uiteraard geef ik deze ideeën graag voor beter.

Het zou zeker interessant zijn wanneer zowel leraren exacte vakken als leraren taalonderwijs voorbeelden van het eliciteren en kanaliseren van vorming zouden rapporteren in een lerarenteam, dat overeenkomt met de beschrijving die ik eerder gaf (pagina 634 e.v.). Dit 'rapporteren' zou dan overeenkomen met het rapporteren uit figuur 37 op pagina 637. Ik kom dan weer uit bij het linkervak van deze figuur, en ik kan nu nagaan of ook dit linkervak als (deel van) onderzoek beschouwd kan worden in termen van 'eliciteren' en 'kanaliseren'. Om dit 'nagaan' te illustreren heb ik deze figuur, als figuur 43, opnieuw weergegeven, en het rechtervak aangepast aan de voorafgaande uitwerking in de richting van onderzoek, en linkervak alvast aangepast aan de hierna volgende uitwerking.

Figuur 43



De vraag die daarbij als richtlijn fungeert luidt: *kunnen de activiteiten uit het linker-vak ook in het licht van eliciteren en kanaliseren als onderzoek beschouwd worden; welke elementen zou je dan benadrukken / extra aandacht geven; hoort daar ook kritische toetsing bij?*

Antwoorden:

- Zoals ik hierboven schreef is het op adequate wijze eliciteren en kanaliseren van vorming een complexe kunst en kunde die nauw luistert. De leraar die rapporteert zal daarom zijn keuzes, acties, en overwegingen met betrekking tot eliciteren en kanaliseren graag bespreken met collega's. Zowel om zijn opgedane ervaringen te verbeteren (in welke context plaats ik successen of tegenvallers?), als ook om suggesties voor verbetering van kanalisering te verkrijgen, als ook om suggesties voor toekomstige acties te verkrijgen, et cetera. Het adequaat ontwikkelen en verbeteren van kanaliseringen is al een veelomvattende 'wetenschap' op-zich. De kennisontwikkeling betreft zowel het functioneren van interfaces³⁰⁶, als beginvoorwaarden, als spelregels, als rolverdelingen, als bijsturende interventies, als proces-monitoring, et cetera. Op al deze aspecten kan een rapporterende leraar bij zijn collega's reacties eliciteren, en kanaliseren naar het doel waarvoor hij deze reacties nodig heeft.
- Om dit goed te kunnen doen moet dus ook de interactie in dit lerarenteam adequaat gekanaliseerd zijn. *Wat houdt deze kanalisering in?* In verband met deze vraag benadrukt De Zeeuw twee belangrijke kenmerken (2011a, pp. 8-9). Deze kanalisering moet in de eerste plaats inhouden dat de leden van dit team zich laten absorberen door het 'onderzoeks-spel' en door zijn focus op 'vorming', op een even monomane wijze als sporters, muzikanten of kinderen zich kunnen laten absorberen door hun spel. Op deze wijze kan een kanalisering gerealiseerd worden die inhoudt dat, in het kader van het onderzoeks-spel, de collectieve kennisinteresse zuiver op 'vorming'

³⁰⁶ Zie mijn eerdere definiëring en uitwerking van dit concept in hoofdstuk 14, §§ 5.b en 5.c..

geconcentreerd is, en de deelnemers hun andere belangen, interessen, agenda's en motieven 'tussen haken zetten'³⁰⁷ (zolang het spel duurt). Op deze wijze wordt een concentratie op één doel bereikt die te vergelijken is met de concentratie op 'afzien van alle doelen' binnen de fysica³⁰⁸. Met een dergelijk concentratie op 'vorming' kan bereikt worden dat er niet alleen gelokaliseerde en geïndividualiseerde kennis met hoge kwaliteit wordt ontwikkeld, maar ook algemene kennis die bruikbaar is voor ieder die 'vorming' beoogt, onafhankelijk van bijkomende doelen, belangen, en andere contexten, die daar in de praktijk nog bij kunnen komen. Over de wijze waarop deze kanalisering bereikt kan worden leiden de beschouwingen van dit deel tot de suggestie dat een gemeenschappelijke taal over vorming daaraan bij kan dragen, evenals het nader onderscheiden van 'dimensies' van vorming. En uiteraard zullen vooral successen met het eliciteren en kanaliseren van vorming het lerarenteam inspireren om de onderzoeks-kanalisering op vorming vol te houden en aan te scherpen. Die aanscherping zal ongetwijfeld ook leiden tot het aanscherpen van de eerste voorstellingen van vorming, zoals de nog tamelijk globale bepalingen van drie dimensies in deze studie.

- De Zeeuw benadrukt in de tweede plaats dat het onderzoeksteam en zijn focus levensvatbaar moeten zijn in hun omgeving. Dat vereist op zijn minst dat er in die omgeving niet zóveel verzet, afkeer of onverschilligheid tegenover dit onderzoek moet bestaan, dat het onderzoek en zijn resultaten niet kunnen overleven.
- Pedagogische schoolleiders die het belang van deze twee kenmerken inzien zullen zich daarom verantwoordelijk voelen om zorg te dragen voor een goede start van een dergelijk onderzoeksteam. De schoolleiding kan zorgdragen voor een samenstelling uit leden die gemotiveerd en bereid zijn om zich op vorming te concentreren. Daarnaast kan de schoolleiding een moment kiezen waarop de rest van het team, en de school in zijn ontwikkeling en in zijn omgeving, er aan toe zijn om het accent op vorming op zijn minst een kans te geven. Tenslotte kan de schoolleiding zorg dragen voor ondersteuning door haarzelf en door externe onderzoekers met expertise in vormings-onderzoek. Niet om het onderzoek over te nemen, maar om als 'kritische vrienden' het team te ondersteunen in het volhouden van het onderzoeks-spel, de onderzoekshouding, de onderzoekscyclus, en het team te voorzien van nuttige hulpmiddelen en suggesties. Zoals een scheidsrechter bij wedstrijden een cruciale rol vervult voor het handhaven van de focus op het spel, zo kan ook een schoolleider (of een 'externe') in een onderzoeksteam een cruciale rol vervullen voor het handhaven van de focus op het 'onderzoeks-spel'.

³⁰⁷ Het is in dit verband interessant en verhelderend dat De Zeeuw dit 'tussen haken zetten' vergelijkt met de 'opschorting' (εποχή) die Husserl toepaste om zijn *Phänomenologische Fundamentalbe-trachtung* te kunnen ondernemen, zie deel II, hoofdstuk 8, § 1.a.

³⁰⁸ Hoewel, men kan blijven stellen dat ook fysica op één doel gericht is, namelijk: het ontwikkelen van doelneutrale kennis van hoge kwaliteit.

- Een ander element dat het benadrukken waard is, is de dubbele rol van wat eerst 'ondersteunen' heette, en wat nu -in onderzoekscontext- 'kanaliseren' (inclusief 'eliciteren') heet. Dit 'kanaliseren' blijkt niet alleen te fungeren als onderzoeksinstrument maar ook als voorwerp van onderzoek. Wanneer de onderzoeker zich concentreert op het ervaren van vorming, dan fungeert de kanalisering als de 'bril' die hij nodig heeft om vorming (van leerlingen) te kunnen ervaren, maar kennelijk kunnen die ervaringen van vorming (door toetsing aan criteria van verenigbaarheid en scherpte) ook weer aanleiding geven om de focus te verleggen naar de 'kanalisering-bril'. Deze complexe dubbelheid blijkt toch minder vreemd te zijn wanneer we haar vergelijken met fysisch onderzoek. De modellen die fysici ontwikkelen, en die zich materialiseren in hun experimenten, zijn immers ook taalspelen die fungeren als 'kanaliserende brillen' voor observaties. En wanneer die 'kanaliseringen' observaties voorspellen die niet nauwkeurig met feitelijke metingen kloppen, dan verleggen ook fysici de focus naar hun 'kanalisering' en concentreren zij zich op de verbetering dáárvan. Zoals in fysica de wederzijdse verbetering van modellen en observaties aan de orde is, zo is in vormings-onderzoek de wederzijdse verbetering van kanaliseringen en ervaringen aan de orde. De praktische kanalisering van vormings-onderzoek komt overeen met het fysisch experiment, en de overwegingen die aan de kanalisering ten grondslag liggen komen overeen met het fysische model. Dit gemeenschappelijke kenmerk, van het bewust en methodisch over en weer verbeteren van onderzoeks-brillen en onderzoeks-opbrengsten, kan wellicht aangemerkt worden als een element van de 'familieverwantschap' op grond waarvan vormings-onderzoek tot de onderzoeksfamilie gerekend kan worden.
- Een laatste element dat ik wil benadrukken is de al eerder beschreven bijzondere verhouding tussen gesitueerde kennis en generieke kennis (pagina 640). Op die plaats stelde ik dat gesitueerde kennis het hoogste doel is, omdat het primair gaat om unieke leerlingen kansen te bieden om hun unieke vormgeverschap te ontwikkelen, en om unieke leraren hun unieke bekwaamheden in het ondersteunen/kanaliseren daarvan te doen ontwikkelen. Maar, generieke kennis is in dit verband ook onmisbaar als een eigen categorie. Begrippen zoals 'eliciteren' en 'kanaliseren' belichamen immers onmisbare generieke kennis-apriori's met betrekking tot vorming, die vormings-onderzoek als *vormings*-onderzoek pas mogelijk maken. En daarnaast belichamen generieke categorieën, zoals de drie dimensies van vorming, een voor-

onderstelde 'common ground'³⁰⁹ die als vergelijkingsgrond kan dienen wanneer men kanaliseringen en manifestaties van vorming uit verschillende contexten toch wil kunnen vergelijken. Op grond daarvan kan een taalleraar bijvoorbeeld aan een leraar exacte vakken vragen (en omgekeerd!) of zijn kanalisering alleen het ervaren van 'vorming door spelen en genieten' mogelijk maakt, en wat er aan de kanalisering zou moeten veranderen om ook de andere twee dimensies een kans te geven om zich ervaarbaar te manifesteren, et cetera. Deze en dergelijke generieke vormen van

³⁰⁹ De hypothese, dat de betekenissen van 'spelen en genieten', van 'ethische verantwoordelijkheid', en van 'dankbaarheid', berusten op een geërfd substraat dat ouder is dan de mens, en daarom een algemeen-menselijke 'common ground' vertegenwoordigen, lijkt mij plausibel. Om dit toe te lichten kan ik om te beginnen herinneren aan eerdere passages:

Dat 'genieten en spelen', volgens de ethologie van de laatste decennia, 'ouder is dan de mens' werd al vermeld in deel I (hoofdstuk 3, § 3.b); en in het huidige deel speelde dit gegeven een belangrijke rol in mijn evaluatie van de visie van Levinas op subjectwording (hoofdstuk 15, § 2.d).

Dat 'ethische responsiviteit', eveneens volgens de ethologie, 'ouder is dan de mens' werd ook al vermeld in deel I (hoofdstuk 3, § 3.b); en ook dit gegeven speelde een belangrijke rol in mijn evaluatie van de visie van Levinas (hoofdstuk 15, § 2.d).

Daarnaast geven ethologische studies aanwijzingen, dat dit 'ouder dan de mens' ook toegeschreven kan worden aan dankbaarheid. Bij De Waal vond ik twee uitgewerkte voorbeelden, waarin ethologen aanwijzingen zien dat het ervaren en betonen van 'dankbaarheid' niet alleen aan mensen is voorbehouden. Het eerste voorbeeld betreft een bultrugwalvis die in nylon touwen verstrikt geraakt was en daaruit door duikers bevrijd werd. Toen de walvis beseftte dat zij vrij was, ging zij er niet direct vandoor, maar zwom zij in een grote cirkel langs alle duikers. Ze raakte hen één voor één voorzichtig met haar neus aan, en ging dan verder naar de volgende duiker. De betrokkenen ontkwamen niet aan de interpretatie dat de walvis hiermee dankbaarheid tot uitdrukking bracht (2009, pp. 148-149). Het tweede voorbeeld betreft een Chimpansee-moeder met te weinig melkproductie, die van De Waal geleerd had om pasgeboren jongen met de fles te voeden. Gedurende haar verdere leven begroette zij De Waal iedere keer dat hij haar zag, en dat was maar één keer in de paar jaar, uitzinnig "alsof ik een lang geleden verloren familielid was" (2013, p. 137). Ook De Waal kon deze uitingen niet anders interpreteren dan als uitingen van dankbaarheid. De Waal noemt in dat verband nog een voorbeeld, en merkt op dat er vele van die voorbeelden zijn. Mij is geen ethologische studie naar 'dankbaarheid' bekend, maar het lijkt mij dat een dergelijke studie zeer wel mogelijk kan zijn, en voor ons begrip van de functies van dankbaarheid -ook bij mensen- verhelderend kan zijn.

Evenals de andere twee soorten van zingevende ervaringen zou 'dankbaarheid' dan in het menselijke bereik transformeren naar nieuwe mogelijkheden. Maar, wanneer ook deze ervaring op een oud substraat berust, dan zou het ook in dit geval gaan om een van de evolutie geërfde algemeen-menselijke ervaring. Het lijkt mij daarom plausibel dat de menselijke vermogens, om inspiratie te ontleen aan deze drie soorten van ervaringen, behoren tot "*the basic features of being human because we are human*" (deel II, hoofdstuk 8, § 2.b).

(voorlopige) kennis fungeren als 'kanaliseringen' die vergelijkingen over de grenzen van situaties heen mogelijk en productief maken. En, uiteindelijk staan er bij 'vorming' ook niet alleen gesitueerde en individuele doelen, waarden en belangen op het spel. De waarde en het belang van een levende, levensvatbare, duurzame en pluralistische cultuur en samenleving staan eveneens op het spel. Mijn eerdere prioritering van gesitueerde kennis (pagina 640) moet dus gecorrigeerd worden. Het is beter om ervan uit te gaan dat bij vormings-onderzoek zowel generieke als gesitueerde kennis een rol spelen, met elk hun eigen recht en reden van bestaan, en dat het erom gaat dat die twee kennis-soorten aan elkaars verbetering bijdragen.

Hiermee is nu (voorlopig) de tweede stap voltooid van de vier-stappen-gedachtegang die ik op pagina 641 aankondigde. En daarmee is ook de eerste vraag van het 'gevolglijkhedenprobleem' uit deel I beantwoord. Die vraag luidde: *Kan de samenhang tussen 'ondersteuning' en 'vorming' beschouwd worden als een modus van gevolglijkheid die vatbaar is voor toetsend onderzoek?* Het antwoord op die vraag is nu:

Ja dat kan, wanneer 'ondersteunen' in de context van vormingsonderzoek opgevat wordt als 'eliciteren en kanaliseren'. Het 'ondersteunen' functioneert dan als 'onderzoeksbil' die bepaalt en beperkt welke modus van vormingikbaar en onderzoekbaar wordt. De samenhang tussen dit 'bepalen en beperken' enerzijds, en de 'ervaarbare en onderzoekbare vorming' anderzijds, is in die context een modus van gevolglijkheid die een cruciale rol speelt. Deze modus van gevolglijkheid is secundair (subsidiar) voorwerp van onderzoek binnen vormingsonderzoek ('kanaliseringswetenschap', pagina 651), omdat het voor dat onderzoek een cruciale opgave is om voortdurend het 'eliciteren en kanaliseren' zodanig te verbeteren dat het bijdraagt aan betere ervaringen van 'vorming', en om betere ervaringen van 'vorming' te gebruiken voor het verbeteren van 'eliciteren en kanaliseren'.

Toetsing impliceert in deze context dat de effectiviteit van ondersteuning als 'onderzoeksbil' afgeleid wordt van kenmerken van de 'vorming' die met behulp daarvan beschikbaar wordt (zoals 'scherpte' en 'integratie'). Deze toetsing vervult een belangrijke rol bij verbetering en vernieuwing van ondersteuning als 'onderzoeksbil'.

3. Positionering

Nu de tweede stap voltooid is, komt de tweede vraag van het 'gevolglijkhedenprobleem' aan de orde. Deze vraag luidde: *Kan deze modus van gevolglijkheid gepositioneerd worden te midden van andere modi van toetsbare gevolglijkheid?*

Om deze vraag te beantwoorden moet allereerst gekozen worden voor een 'cartografie' die geschikt is om de hierboven nader bepaalde gevolglijkheid samen met andere modi van gevolglijkheid op een 'landkaart' te positioneren. In het kader van mijn studie ligt deze keuze voor de hand. De benadering van 'gevolglijkheid', die in deze studie is toegepast, is immers ontleend aan de wetenschapstheorie van Rosen (en anderen), waarin een specifiek begrip van 'complexiteit' centraal staat. Het ligt daarom voor de hand om

deze wetenschaps-theoretische benadering nu ook te gebruiken voor de positioneringsvraag.

Het begrip 'complexiteit' werd in deel II geïntroduceerd naar aanleiding van de stelling van Gödel (hoofdstuk 5, § 5). Gödel bewees dat het systeem van de aritmetica (als het consistent is) stellingen bevat die juist kunnen zijn, maar die toch niet volgens een wiskundig-axiomatisch systeem van bewijsvoering bewezen kunnen worden. Rosen ontleent zijn concept van 'complexiteit' aan deze stelling. Gödels ontdekking kan geformuleerd worden als: het systeem van de aritmetica is meer complex dan het wiskundig-axiomatische systeem van bewijsvoering. Of, algemeen gesteld, en in Rosens terminologie: systeem A is complexer dan systeem B, wanneer de gevolgtrekking van systeem B slechts voor een deel correspondeert met de gevolgtrekking van systeem A, terwijl omgekeerd alle gevolgtrekking van systeem B wel correspondeert met gevolgtrekking van systeem A. Kort geformuleerd: *systeem A noemen we complexer dan systeem B, wanneer de gevolgtrekking van A 'rijker' is dan die van B.*

Wanneer ik deze benadering nu toepas op de positionering van 'vormings-gevolgtrekking' ten opzichte van 'wiskundige gevolgtrekking', dan kan gesteld worden dat de verkenningen van deel II tot de conclusie hebben geleid dat '*vormings-gevolgtrekking*' complexer is dan '*wiskundig-statistische gevolgtrekking*'. Het bleek immers dat men enerzijds wiskundig-statistisch juiste generieke samenhangen rond vorming kan vaststellen, maar dat er anderzijds op uniek-individueel niveau ook gevolgtrekking in het spel is, die ontsnapt aan de generaliserende variabelentaal van wiskunde, en die ook niet aan zuiver toeval toegeschreven moet worden. Vandaar de conclusie, aan het einde van hoofdstuk 9 (§ 3.g), dat wiskundig onderzoek alleen een goede bijdrage kan leveren aan inzicht in 'vormings-gevolgtrekking' wanneer het ruimte laat voor een andere kennisbenadering.

Wanneer deze benadering toegepast wordt op de positionering van 'vormings-gevolgtrekking' ten opzichte van de 'mechanisme-gevolgtrekking' waartoe fysische wetenschappen zich beperken, dan levert zij een gelaagd beeld op van steeds complexere niveaus van gevolgtrekkingen:

- a. Machine-systemen belichamen complexere gevolgtrekking dan mechanismen, omdat enerzijds alle gevolgtrekking van mechanismen ook voor machines opgaat, maar machine-systemen anderzijds alleen goed begrepen kunnen worden wanneer men ook 'functionele gevolgtrekking' in aanmerking neemt.
- b. Levende systemen belichamen complexere gevolgtrekking dan machine-systemen, omdat enerzijds alle gevolgtrekking van machines ook opgaat voor levende systemen, maar er anderzijds voor een goed begrip ook functionele gevolgtrekking aangenomen moet worden die niet tot systeem-externe redenen herleid kan worden (zoals bij machines altijd het geval is).
- c. Menselijke systemen belichamen binnen het domein van levende systemen complexere gevolgtrekking dan niet-menselijke systemen, omdat enerzijds alle gevolgtrekking

heid van levende systemen ook opgaat voor menselijke systemen, maar er anderszijds voor een goed begrip ook gevolgblijkheid aangenomen moet worden die te danken is aan het menselijke vermogen om symbolische taal tot steeds verder verbeterde en vernieuwde vormen te ontwikkelen.

Omdat 'vormings-gevolgblijkheid' behoort tot het domein van menselijke systemen, is er sprake van een grote sprong in toename van complexiteit wanneer men deze gevolgblijkheid positioneert ten opzichte van de 'mechanisme gevolgblijkheid' waartoe de fysische wetenschappen zich beperken.

Bij het bovenstaande beeld van niveaus van toenemende complexiteit moet ik hier enkele opmerkingen plaatsen:

- De niveaoverschillen die onder a en b geformuleerd worden, zijn met name door theoretische biologen zoals Robert Rosen (1991) beargumenteerd en verdedigd³¹⁰. Bij mijn verkenningen in het voorafgaande ben ik van Rosens benadering uitgegaan, zonder zijn argumentatie op dit punt volledig weer te geven, omdat dit voor deze studie veel te ver zou voeren. Belangrijke argumenten voor het volgen van zijn benadering waren voor mij:
 - + de grondigheid van zijn analyses,
 - + de fundamentele keuze, onder zijn analyses, voor een wetenschapstheorie die reductionisme en dualisme vermijdt.
- De argumenten voor het niveauverschil dat onder c geformuleerd wordt, heb ik in het huidige deel (met name hoofdstuk 14) ontleend aan een keur van denkers die het onderscheidende van het menselijke vooral begrijpen vanuit het menselijke taalvermogen.

Hiermee is de positioneringsvraag niet volledig beantwoord. Vormings-gevolgblijkheid is hier slechts gepositioneerd ten opzichte van de formele gevolgblijkheden die wiskunde onderzoekt, en ten opzichte van de mechanismen die de fysische wetenschappen onderzoeken. Deze positionering kan nog verder aangevuld en verfijnd worden door er meer takken van onderzoek bij te betrekken. Binnen het bestek van deze studie moet ik echter met het bovenstaande genoegen nemen.

4. Eisen

Van de vier stappen, die op pagina 641 werden aangekondigd, rest nu nog slechts de vierde stap. Deze laatste stap betreft zowel het antwoord op de laatste vraag van het gevolgblijksprobleem: "*stelt deze modus van gevolgblijkheid specifieke eisen aan de werkwijze bij toetsend onderzoek?*" (pagina 630), als het antwoord op het tweede deel

³¹⁰ Zoals ook de theoretische biologen Maturana en Varela, en de filosoof Van der Wal (2011) doen, onder verwijzing naar vele andere auteurs.

van de derde hulpvraag: "*en zo ja, aan welke eisen moet zulk onderzoek voldoen?*" (pagina 630).

Gezien de voorafgaande beschouwingen is globaal vereist, dat dergelijk onderzoek methodisch-systematisch zorg besteedt aan adequate vormen van *kanaliseren* (inclusief eliciteren), op twee niveaus:

1. het kanaliseren van de interactie tussen onderzoekers in een onderzoekerscollectief,
2. het kanaliseren van de interactie tussen onderzoekers en hun voorwerpen van onderzoek.

In vervolg hierop kunnen de volgende nadere eisen geformuleerd worden:

1. De kanalisering op het eerste niveau is vereist om te bewerkstelligen dat onderzoekers zich (beter) concentreren op één vorm van doelgerelateerde en deels gesitueerde kennis, zoals de kanalisering van fysici bewerkstelligt dat zij zich (beter) concentreren op één vorm van toepassingsneutrale en context-onafhankelijke kennis.
2. Op het tweede niveau impliceert kanalisering dat een persoon die als ondersteuner begint een onderzoeksperspectief op zijn rol moet innemen; of, dat een persoon die als onderzoeker begint zich realiseert dat onderzoek naar 'vorming' impliceert dat de onderzoeksmethode ondersteunend moet zijn voor de vorming die hij wil leren kennen. Van beide kanten beginnend is op het tweede niveau een perspectief-uitbreiding vereist. Op grond van die perspectief-uitbreiding kan de ondersteuner/ onderzoeker zeggen: "*Mijn primaire kennisinteresse betreft 'vorming'. Om kennis van 'vorming' te ontwikkelen gebruik ik verschillende vormen van ondersteuning (kanalisering) als 'brillen', net zo goed als een fysicus verschillende experimenten (en achterliggende modellen) als 'brillen' gebruikt. In die context betreft mijn secundaire kennisinteresse de samenhang tussen deze 'brillen' (ondersteuning/kanalisering/interfaces) en de kwaliteit van (kennis van) vorming die met behulp van deze 'brillen' verkregen kan worden*" (pagina's 653 en 655).
3. Daarnaast blijkt in deel III dat het methodisch-systematisch over en weer verbeteren van gesitueerde kennis (inclusief individuele bekwaamheid) en generieke kennis (suggesties, axioma's, beelden van vorming), onder erkenning van onderlinge gelijkwaardigheid, een belangrijk eis is waar vormings-onderzoek aan moet voldoen (pagina 653-655).
4. De aandacht voor generieke kennis maakt dat vormings-onderzoek in algemene termen gerapporteerd kan worden, en zodoende ook kan voldoen aan de algemene eis van transparante verantwoording van onderzoek in een wereldwijde vormings-onderzoeksgemeenschap.

Conclusies

Vormings-onderzoek dat aan de bovenstaande eisen voldoet mag met recht tot de onderzoeks-familie gerekend worden.

Vormings-onderzoek is niets anders dan ondersteuning van vorming die *methodisch-systeematisch* mikt op hoge kwaliteit, zowel van ondersteuning als van vorming. Het onderzoek blijft ondersteuning, inclusief de asymmetrische verantwoordelijkheid, en inclusief het besef van zowel de kwetsbaarheid als de hoge graad van autonomie van vorming.

Het spontaan opbloeien van vorming en ondersteuning blijft belangrijk naast het daaruit ontwikkelen van vormings-onderzoek. Het voorbeeld van 'met leerlingen filosoferen over natuurkunde' (hoofdstuk 14, § 1) illustreert het belang van het spontaan opkomen van een idee uit interactie, zonder dat het in die fase al geassocieerd wordt met een concept van 'vorming'. Leerlingen en leraar komen in die fase op het idee om 'zoiets' te doen, gewoon omdat zij er op dat moment 'zin in hebben'.

Het doorontwikkelen van een dergelijk 'zoiets' tot vormings-onderzoek zal bij dit voorbeeld impliceren dat de leraar veel nadrukkelijker een accent gaat leggen op het eliciteren en kanaliseren van reacties van leerlingen, op het vergelijken (en ordenen) van die reacties, op het variëren en verbeteren van zijn eigen inbreng als kanaliseringen, op het vergelijken daarvan in het licht van ervaringen, op het rapporteren van dit alles aan collega's, et cetera. Door een dergelijke methodische aanpak zal inderdaad een substantiële kwaliteitsverbetering gerealiseerd kunnen worden.

Dit methodisch onderzoeken en verbeteren vooronderstelt echter het spontane begin. Daarom lijkt het mij van belang dat methodisch werken niet uitsluit dat er speelruimte blijft voor dergelijke spontane interacties, zonder dat bij voorbaat duidelijk is, of vereist is, dat daar iets uit ontstaat dat methodisch verantwoord en verbeterd kan worden.

Het beeld van vormings-onderzoek is hiermee uiteraard niet compleet. Dit beeld kan en moet verder aangevuld worden op grond van ervaringen ermee, op grond van vergelijkingen met andere takken van onderzoek, en op grond van eerder onderzoek³¹¹.

³¹¹ Van het eerder uitgevoerd onderzoek zijn met name voorbeelden uit het onderwijs van belang. Daarvan moet in de eerste plaats het onderzoek van De Jong (2006) genoemd worden, dat betrekking heeft op muzikale vorming en dat in grote trekken volgens de hierboven geschetste benadering van eliciteren en kanaliseren is opgezet. Daarnaast is er onderzoek ondernomen rond levensbeschouwelijke vorming in het onderwijs, zoals (L. van der Burg, 1984), (Bakker, 2006a, 2006b), en (van den Berg, 2014). Schoolbreed onderzoek, zoals hier geschetst, naar de bijdragen van verschillende schoolvakken aan vorming, en gericht op coördinatie en integratie van die bijdragen, is mij echter niet bekend.

Op grond van het bovenstaande heb ik nu voor deze studie voldoende antwoord op zowel het 'gevolgijkheidsprobleem' uit deel I, als op de voor dit hoofdstuk geformuleerde 'derde hulpvraag'.

3.d Opbrengst delen II en III

De bovengenoemde vier eisen moeten nu vertaald worden naar wenselijke identiteitskenmerken van schoolleiders, in aanvulling op de kenmerken die aan het einde van deel II al genoemd werden. Deze eerder genoemde kenmerken waren (pagina 631):

Dat de schoolleider:

1. beseft dat passend onderzoek een belangrijke bijdrage kan geven aan verbetering van de ondersteuning van vorming;
2. daarbij ook beseft dat de bijzondere aard van de samenhang tussen ondersteuning en vorming een onderzoeksbenadering vereist die in zekere zin tegengesteld is aan de wiskundige benadering, zonder uit te sluiten dat wiskundig onderzoek een zinvolle aanvulling kan zijn op de eerstgenoemde 'teggengestelde' benadering.

Wanneer ik deze kenmerken nu leg naast de bovengenoemde vier eisen, dan valt op dat het 'oude' tweede kenmerk in het licht van de huidige beschouwingen nader uitgewerkt is in de derde eis. Daarom kan dit 'oude' kenmerk nu opgenomen worden in een nieuw kenmerk, waarin de bovengenoemde vier eisen zijn samengevat. De nieuwe formulering van de wenselijke identiteitskenmerken wordt zodoende:

Dat de schoolleider

1. beseft dat passend onderzoek een belangrijke bijdrage kan geven aan verbetering van de ondersteuning van vorming;
2. daarbij ook beseft dat de concentratie op vorming een onderzoeksbenadering vereist waarbij:
 - + de onderzoekers zich verenigen in een team, waarvan de leden gemotiveerd en in staat zijn om binnen het 'onderzoeks-spel' alle andere doelen en belangen, buiten de vorming van leerlingen, buiten beschouwing te laten om zich zodoende op de ontwikkeling van één vorm van doelgerelateerde kennis te concentreren;
 - + de onderzoekers in staat zijn om, ter wille van het onderzoek naar vorming van leerlingen, ondersteuning te transformeren naar vormen van kanalisering die methodisch onderzoek naar vorming mogelijk maken, dan wel zich te realiseren dat onderzoeksmatige kanalisering ondersteunend moet zijn voor de modi van vorming waar hun belangstelling naar uitgaat;
 - + de onderzoekers zich toeleggen op het methodisch-systematisch over en weer verbeteren van gesitueerde kennis en generieke kennis, onder erkenning van de gelijkwaardigheid van deze twee kennis-categorieën;

- + de onderzoekers gemotiveerd en in staat zijn om hun onderzoek op transparante wijze te rapporteren en te verantwoorden, zowel onderling binnen het schoolgebonden onderzoeksteam, als uiteindelijk in een wereldwijde vormingsonderzoeks-gemeenschap;
 - en daarom gemotiveerd en in staat is om zowel als mede-onderzoeker aan dergelijk onderzoek deel te nemen, als ook om dergelijk onderzoek te faciliteren en te begeleiden.

4 SAMENVATTING OPBRENGST

Aan het eind van dit hoofdstuk en van dit deel is nu het moment gekomen om de gehele opbrengst, in het licht van de hoofdvraag voor de delen II en III (zie deel I, hoofdstuk 2, einde § 1) op een rij te zetten:

Als identiteitskenmerken, die eraan bij kunnen dragen dat een schoolleider goed (en beter) functioneert als pedagogisch leider ten aanzien van het onderwijs in de exacte vakken, kunnen genoemd worden:

Dat de schoolleider³¹²

1. intrinsiek gemotiveerd en in staat is om authenticiteit te tonen en ontmoetingen te organiseren omdat hij beseft dat dit algemene kenmerken van ondersteuning zijn, die zowel gelden voor de vorming van leerlingen, als voor de vorming van leraren; en die hij als het 'gezicht van de school' moet uitdragen als essentiële waarden in de schoolcultuur;
2. zelf ervaring heeft opgedaan in het 'met hart en ziel' ondersteunen van vorming van jonge mensen;
3. ook alert is op de valkuil van projectie, en met belangstelling openstaat voor de andere creatieve vormgevingen aan ondersteuning, die de leraren exacte vakken van zijn school ontwikkelen;
4. zich kan voorstellen, en ook kan waarderen,
 - + dát de exacte vakken voor mensen, en dus ook voor leerlingen, positief- en negatief inspirerende ervaringen kunnen opleveren, en ook globaal weet
 - + welke ervaringen dat zijn, en welk vormgeverschap het onderwijs in de exacte vakken bij leerlingen in principe kan stimuleren;
5. een gefundeerd beeld heeft van de sterke kanten, beperkingen, verleidingen en risico's van de 'wiskundige bril' en van de 'fysische bril';
6. intrinsiek gemotiveerd en in staat is om zijn voorstellings-arsenaal van de ondersteuning van vorming door leraren exacte vakken uit te breiden door gebruik te maken van zoveel mogelijk bronnen van verschillende soort;

³¹² De nummering dient alleen om verwijzingen naar specifieke kenmerken eenvoudig te maken.

7. intrinsiek gemotiveerd en in staat is om via coaching van vaksecties exacte vakken, en via coaching van vakoverstijgend kernteams, procesmatig bij te dragen aan de kwaliteit van teambezinning op:
 - + eerste mogelijkheden voor ondersteuning van vorming van leerlingen,
 - + verbetering van ondersteuning,
 - + vernieuwing van ondersteuning,
 - + zingevende kwaliteit van ondersteuning;
8. intrinsiek gemotiveerd en in staat is
 - + om verschillende soorten van zingevende ervaringen (zoals: zingend spelen en genieten, zingevende verantwoordelijkheid en zingevende dankbaarheid), en daarmee corresponderende dimensies van vorming, bij zichzelf en bij anderen te herkennen, en
 - + om zich een beeld te vormen van de onderlinge relaties tussen deze ervaringen en dimensies (bij zichzelf en bij anderen), en
 - + om bewust met deze ervaringen en dimensies om te leren gaan, met name in verband met het verwerven van toepassingsneutrale kennis in exacte vakken en verantwoordelijkheid voor het gebruik daarvan;
9. intrinsiek gemotiveerd en in staat is om bij de hiervoor genoemde teamcoaching inhoudelijk aan kwaliteit bij te dragen, door te bevorderen dat een gemeenschappelijke taal geïntroduceerd en gebruikt wordt, die het mogelijk maakt om te onderscheiden tussen verschillende soorten van zingevende (c.q. inspirerende) ervaringen en tussen verschillende dimensies van vorming; met het doel dat deze taal het mogelijk maakt om de verschillende gedaanten van vorming en van ondersteuning beter te herkennen, te ordenen, en met elkaar in verband te brengen; en met het doel dat de leraren van verschillende vakken ook in hun gesprekken met leerlingen over vorming voor een groot deel dezelfde taal hanteren;
10. intrinsiek gemotiveerd is om vanuit zijn schoolleiderspositie, met een vaksectie exacte vakken of een vakoverstijgend team mee te denken over verbeteringen van voorwaarden en voorzieningen, die het realiseren van plannen en suggesties van het team kunnen ondersteunen;
11. beseft dat passend onderzoek een belangrijke bijdrage kan geven aan verbetering van de ondersteuning van vorming;
12. daarbij ook beseft dat de concentratie op vorming een onderzoeksbenadering vereist waarbij:
 - + de onderzoekers zich verenigen in een team, waarvan de leden gemotiveerd en in staat zijn om binnen het 'onderzoeks-spel' alle andere doelen en belangen, buiten de vorming van leerlingen, buiten beschouwing te laten om zich zodoende op de ontwikkeling van één vorm van doelgerelateerde kennis te concentreren;
 - + de onderzoekers in staat zijn om, ter wille van het onderzoek naar vorming van leerlingen, ondersteuning te transformeren naar vormen van kanalisering die methodisch onderzoek naar vorming mogelijk maken, dan wel zich te realiseren

dat onderzoeksmatige kanalisering ondersteunend moet zijn voor de modi van vorming waar hun belangstelling naar uitgaat;

- + de onderzoekers zich toeleggen op het methodisch-systematisch over en weer verbeteren van gesitueerde kennis en generieke kennis, onder erkenning van de gelijkwaardigheid van deze twee kennis-categorieën;
 - + de onderzoekers gemotiveerd en in staat zijn om hun onderzoek op transparante wijze te rapporteren en te verantwoorden, zowel onderling binnen het schoolgebonden onderzoeksteam, als uiteindelijk in een wereldwijde vormings-onderzoeks-gemeenschap;
 - en daarom gemotiveerd en in staat is om zowel als mede-onderzoeker aan dergelijk onderzoek deel te nemen, als ook om dergelijk onderzoek te faciliteren en te begeleiden.
13. zich realiseert dat ook de schoolcultuur als geheel een rol speelt in het ondersteunen van vorming, en daarom openstaat voor kritiek op schoolcultuur en schoolbeleid, ook wanneer deze kritiek zijn eigen rol betreft;
 14. doordrongen is van het belang van integratie van alle teambijdragen tot een vormingsbeleid van de school als geheel; bereid en in staat is om leiding te geven aan die integratie; en in staat is een belangrijke bijdrage te geven aan de procesmatige en inhoudelijke kwaliteit van die integratie;
 15. intrinsiek gemotiveerd is om tegenwicht te bieden tegen verkokering en eilandvorming tussen schoolvakken, en daarom gemotiveerd en in staat is om in de school de samenwerking aan brede vorming ('Bildung') tussen de exacte vakken en andere disciplines te stimuleren en te ondersteunen;
 16. intrinsiek gemotiveerd en in staat is om leiding te geven aan de ontwikkeling van een omringende 'schoolorganisatie', vooral met betrekking tot het gebruik van vruchten van de wiskundige discipline daarbinnen, die in overeenstemming is met de principes van vorming-ondersteunend onderwijs.
 17. intrinsiek gemotiveerd en in staat is om in het schoolteam leiding te geven aan visie-ontwikkeling, op verbetering en vernieuwing van vorming-ondersteunende kwaliteit voor leerlingen, die voor de cultuurbijdrage van de exacte vakken een zingevend kader schept, en waarmee de schoolgemeenschap laat zien dat ook zij niet alleen schepsel maar ook schepper is van cultuur;
 18. intrinsiek gemotiveerd is om zodanig richting te geven aan zijn eigen vorming, dat hij de bepaling van zijn eigen zone van naaste ontwikkeling steeds op tijd afstemt op de zones van naaste ontwikkeling die hij voorziet bij de leraren en de teams die hij begeleidt (o.a. van leraren exacte vakken), en bij de ontwikkeling van de school als geheel.

Aan het einde van dit overzicht moet opgemerkt worden dat het bovenstaande, als opsomming van wenselijkheden, een *ideaalbeeld* presenteert. In de praktijk kunnen en zullen er allerlei factoren en condities meespelen die het realiseren van een aantal van

deze wenselijkheden (nog) verhinderen. Daarom lijkt het mij passend om te herinneren aan de relativerende opmerkingen, die aan het einde van deel II al gemaakt werden:

- Niet alles hoeft tegelijk. Een individuele schoolleider kan voor zichzelf nagaan welke kenmerken hij al voldoende bezit, en op welk ontbrekend kenmerk hij zijn verdere vorming als eerste wil richten.
- Men kan zich ook voorstellen dat een opleiding van schoolleiders zich profileert door aan bepaalde kenmerken uit dit rijtje prioriteit te geven, en bovendien per individuele deelnemer een nadere prioriteit te bepalen.
- Wanneer er in grotere scholen sprake is van een team van schoolleiders, dan kunnen de verschillende schoolleiders binnen dit team elkaars kwaliteiten onderling aanvullen.
- Wanneer de leraren van een school over een aantal van de bovengenoemde kenmerken beschikken, en wanneer de schoolcultuur openstaat voor flexibel en informeel leiderschap³¹³, dan kunnen ook leraren een aantal van de leiderschapsfuncties vervullen (procesmatig of inhoudelijk) die in dit hoofdstuk beschreven zijn, en kunnen zij het leiderschap van schoolleiders aanvullen.
- Mijn betoog leidde bovendien tot de conclusie, dat het realiseren van kansen op vorming in het onderwijs in de exacte vakken primair behoort tot de professionele verantwoordelijkheid van de vakleraren. Daarom is het wenselijk dat een deel van de hier genoemde identiteitskenmerken ook tot de bagage van deze leraren behoort. Wanneer het verwerven van die wenselijke bagage tijdens een leraarsloopbaan schoolintern plaats zou moeten vinden, dan vraagt dit veel interne scholing, en dus ook veel tijd en energie van de schoolleiding en van de school als geheel. Het betekent een substantiële ontlasting van schoolleiding en schoolontwikkeling wanneer ook lerarenopleidingen (initieel en post-initieel) zich richten op het verwerven van identiteitskenmerken die bijdragen aan pedagogisch leiderschap. Om deze reden zal in deel IV (hoofdstuk 18, § 2) ook aandacht besteed worden aan lerarenopleidingen.

³¹³ Zie Spillane's *Distributed Leadership* (2006).

DEEL IV

Opleiding en uitleiding

Inhoudsopgave

Inleiding	669
Hoofdstuk 18 Opleidingen	671
1 Schoolleidersopleiding	671
1.a Over de vraagstelling	671
<i>Voorstellen</i>	671
<i>Identiteitskenmerken</i>	672
<i>Hoe kan opleiding daaraan bijdragen?</i>	673
<i>Conclusie</i>	674
1.b Eerste ontwerp van geschakeld onderzoek	674
<i>Speelruimte binnen opleidingskader</i>	674
<i>Selectie en basisafspraken</i>	675
<i>Taalspelverwerving en zelfonderzoek</i>	676
<i>Vorbereidend onderzoek bij deelnemers</i>	680
<i>Geschakeld onderzoek tweede lijn</i>	682
<i>Geschakeld onderzoek eerste lijn</i>	685
<i>Antwoorden op het schakelprobleem</i>	687
1.c Overige voorstellingen	691
<i>Filosoferen over vorming in onderwijs</i>	691
<i>Doorwerking naar overige opleidingsaspecten</i>	692
1.d Aanvullende condities	693
2 Lerarenopleiding	695
2.a Identiteitskenmerken van leraren exacte vakken	696
2.b Voorstelling van geschakeld onderzoek	698
<i>Speelruimte binnen opleidingskader</i>	698
<i>Selectie en basisafspraken</i>	699
<i>Taalspelverwerving en zelfonderzoek</i>	700
<i>Vorbereidend onderzoek bij deelnemers</i>	702
<i>Geschakeld onderzoek in de les</i>	704
2.c Overige voorstellingen	705
<i>Filosoferen over vorming in onderwijs</i>	706
<i>Doorwerking naar overige opleidingsaspecten</i>	706
2.d Aanvullende condities	707
Hoofdstuk 19 Resultaten, discussie, suggesties	709
1 Overzicht van resultaten	709
1.a Deel II: Wiskunde en Vorming	709
<i>Positie te midden van de familie</i>	709
<i>Eisen aan de werkwijze</i>	710

	<i>Is de samenhang tussen ondersteuning en vorming onderzoekbaar?</i>	711
	<i>Kansen op vorming</i>	711
	<i>Ondersteuning van vorming</i>	712
	<i>Onderzoek</i>	713
	<i>Identiteitskenmerken</i>	713
1.b	Deel III: Fysische wetenschap en Vorming	714
	<i>Positie te midden van de familie</i>	714
	<i>Eisen aan de werkwijze</i>	716
	<i>Is de samenhang tussen ondersteuning en vorming onderzoekbaar?</i>	717
	<i>Kansen op vorming</i>	717
	<i>Ondersteuning van vorming</i>	719
	<i>Onderzoek</i>	720
	<i>Het gevolglichheidsprobleem</i>	724
	<i>Identiteitskenmerken</i>	725
1.c	Hoofdstuk 18: Opleidingen	727
	<i>Hoe kan men zich voorstellen?</i>	728
	<i>Lerarenopleiding</i>	731
1.d	Antwoorden op schakelprobleem, globale vraagstelling, doelstelling	731
	<i>Het schakelprobleem</i>	731
	<i>Globale vraagstelling</i>	733
	<i>Doelstelling</i>	734
2	Discussie	735
2.a	Resultaten	735
	<i>Keuze voor verkennend en ontwerpgericht onderzoek</i>	735
	<i>Inperkingen en beperkingen</i>	736
	<i>Positiekeuzes</i>	736
2.b	Uitgangspunten	737
	<i>Discussabel impliciet mentaal model</i>	737
	<i>Het concept 'vorming'</i>	739
	<i>Eerder ter discussie gesteld</i>	743
3	Suggesties	743
3.a	Een verbeter-traject	743
3.b	Vervolgonderzoek	747
4	Nawoord	748

Inleiding

Nu een belangrijk deel van de vraagstelling van dit onderzoek beantwoord is, lijkt het mij goed om te herinneren aan de doelstelling die motiveerde tot de vraagstellingen voor deze studie. Deze doelstelling luidde (hoofdstuk 1, § 2):

Het leveren van een bijdrage aan verbetering van schoolleiders-opleidingen, waarbij deze verbetering met name gericht is op de ontwikkeling van pedagogisch leiderschap bij de betrokken schoolleiders.

Nadat de reikwijdte van het onderzoek werd ingeperkt tot pedagogisch leiderschap *ten aanzien van de exacte vakken* (hoofdstuk 1, § 5), werd in hoofdstuk 2 de onderzoeksvraagstelling bepaald. Een overweging die bij die bepaling een belangrijke rol speelde hield in, dat het niet vanzelf spreekt dat de leeropbrengst, die een schoolleider in een opleiding opdoet, ook werkelijk ten goede komt aan zijn pedagogisch leiderschap in zijn school. Een deelnemer aan een opleiding kan (als een kameleon) tijdelijk de 'kleur' van de opleidingsomgeving aannemen, en die kleur weer inruilen voor de kleur van zijn werkomgeving zodra als hij daar zijn rol vervult, en vice versa. Tegen deze achtergrond werd de onderscheiding ingevoerd tussen 'functionele kenmerken' (kenmerken die afhankelijk zijn van het functioneren in een specifieke omgeving) en 'identiteitskenmerken' (omgevings-onafhankelijke kenmerken). Het aldus bepaalde begrip 'identiteitskenmerk' werd vervolgens gebruikt voor de formulering van de centrale vraagstelling voor deze studie (hoofdstuk 2, einde § 1):

Hoe kan men zich voorstellen, dat het functioneren van een schoolleider als deelnemer binnen een opleiding een zodanige invloed heeft op zijn identiteitskenmerken, dat hij in zijn school beter gaat functioneren als pedagogisch leider ten aanzien van het onderwijs in de exacte vakken?

Deze vraagstelling werd onderverdeeld in twee deelvragen:

- a. Welke identiteitskenmerken kunnen er aan bijdragen dat een schoolleider in zijn school goed (en beter) functioneert als pedagogisch leider, ten aanzien van het onderwijs in de exacte vakken?
- b. Hoe kan men zich voorstellen dat het functioneren van een schoolleider als deelnemer van een opleiding, bijdraagt aan de ontwikkeling van de in antwoord op de eerste vraag gevonden identiteitskenmerken?

Nadat het onderzoek, dat in de delen II en III beschreven is, antwoorden op de eerste deelvraag heeft opgeleverd, komt nu in deel IV de tweede deelvraag aan de orde.

Het hierna volgende hoofdstuk 18 zal daarom voor het grootste deel gewijd zijn aan het vinden van een antwoord op deze tweede deelvraag.

Zowel aan het einde van deel II (hoofdstuk 10, einde § 4) als aan het einde van deel III (hoofdstuk 17, einde § 4) werd echter geconstateerd, dat de voor schoolleiders geformuleerde identiteitskenmerken deels ook behoren tot de wenselijke 'bagage' van *leraren* (in de exacte vakken). Daarom zal een tweede deel van hoofdstuk 18 gewijd zijn aan de vraag: *hoe kan men zich voorstellen dat het deelnemen aan een (initiële- of postinitiële) opleiding een zodanige invloed heeft op identiteitskenmerken van leraren exacte vakken, dat zij in hun school beter gaan functioneren als pedagogische leiders?*

Vervolgens zal in hoofdstuk 19 het onderzoek afgerond worden met een overzicht van resultaten, discussie van resultaten en uitgangspunten, en het geven van enkele suggesties voor vervolgonderzoek).

Daarna volgen tenslotte een bronnenlijst, samenvattingen in het Nederlands en in het Engels, een dankwoord en een curriculum vitae.

HOOFDSTUK 18

Opleidingen

1 SCHOOLLEIDERSOPLEIDING

De vraagstelling voor deze paragraaf luidt (zie inleiding, deelvraag b):

Hoe kan men zich voorstellen dat het functioneren van een schoolleider als deelnemer van een opleiding, bijdraagt aan de ontwikkeling van de in antwoord op de eerste vraag gevonden identiteitskenmerken?

1.a Over de vraagstelling

Voorstellen

In deze vraagstelling vervult het werkwoord 'voorstellen' een cruciale rol. Zoals toege- licht in hoofdstuk 2 (§ 4) typeert dit werkwoord een voorbereidende onderzoeksfase. Een fase, die bedoeld is om kritische toetsing mogelijk te maken. Het belang van deze fase kan, in de context van bovenstaande vraagstelling, als volgt geconcretiseerd worden:

Wanneer men door middel van onderzoek wil toetsen of specifieke identiteitsken- merken zich bij schoolleiders ontwikkelen dankzij hun functioneren binnen een oplei- ding, *dan moet men zich eerst kunnen voorstellen:*

- welke identiteitskenmerken dat zijn, en hoe die als identiteitskenmerken waargeno- men (c.q. ervaren) kunnen worden (antwoorden te ontleen aan de opbrengsten van de delen II en III);
- welke relatie (gevolglijkheid) tussen het functioneren in een opleiding enerzijds (a), en specifieke identiteitskenmerken anderzijds (b), kan bewerkstelligen dat (a) bij- draagt aan de ontwikkeling van (b).

De onderneming, die door middel van kritische toetsing bijdraagt aan verbetering van dergelijke voorstellingen, kan aangeduid worden als 'toetsend onderzoek'. Het vinden of ontwikkelen van eerste of nieuwe voorstellingen is een voorbereiding daarvan. In hoofd- stuk 2 (§ 4) werd deze voorbereiding gekarakteriseerd als *verkennend* of als *ontwerpge- richt* onderzoek.

Het onderzoek dat in de delen II en III beschreven werd had voor een groot deel een verkennend karakter. Verkenningen van hoofdlijnen van de historische ontwikkeling van de exacte disciplines, van hun sterke punten en beperkingen, van hun interacties met mens- en wereldbeelden, van discussies en polemieken, van filosofische reflecties daar- omheen, liepen uit op verkenningen van de kansen op vorming die het onderwijs in deze vakken te bieden heeft. Het laatste gedeelte van deel III kreeg een meer ontwerpgericht

karakter door het ontwerpen van voorstellingen van vormings-onderzoek (voortbouwend op bestaande praktijken).

Ook het huidige hoofdstuk zal een meer ontwerpgericht karakter dragen. Nu is de opgave aan de orde om beelden (voorstellingen) te ontwerpen van opleidings-inrichtingen en opleidings-interacties die aan de ontwikkeling van gewenste identiteitskenmerken kunnen bijdragen. Daarbij zal het gaan om het ontwerpen van *mogelijkheden* op basis van het voorafgaande, en op basis van ervaringen met bestaande praktijken. Bij de komende ontwerp-voorstellen moet vanzelfsprekend aangetekend worden dat zij het karakter zullen hebben van suggesties. Andere omstandigheden, andere persoonlijkheden, andere voorkennis, en andere ervaringen zullen noodzaken om de hier gepresenteerde suggesties te modificeren, c.q. er maatwerk van te maken.

Een belangrijk aspect van de hierna gepresenteerde ontwerp-suggesties is, dat er voorzien wordt in de mogelijkheid om het in deel I geformuleerde 'schakelprobleem'¹ op te lossen. De ontwerp-suggesties zijn gericht op het haalbaar maken van de ambitie, dat opleiding van schoolleiders, en gecoördineerde opleiding van leraren, (via alle tussenschakels) onderzoeksmatig toetsbaar ten goede komen aan kansen op vorming voor leerlingen. Het zal een belangrijk winstpunt zijn wanneer dit resultaat behouden kan blijven bij nadere verbeteringen en modificaties van het hier gepresenteerde ontwerp.

Identiteitskenmerken

Bij de identiteitskenmerken van schoolleiders, die het hiervoor beschreven onderzoek heeft opgeleverd, moet opgemerkt worden dat deze tot een specifieke categorie behoren. Zoals in deel I werd betoogd² gaat het hier om kenmerken waar een schoolleider zelf vorm aan geeft. Een schoolleider die werk maakt van zijn vorming zal zich niet alleen aanpassen aan de omgevingen (activiteitssystemen) waarin hij verkeert, maar hij zal ook een eigen vorm geven aan zijn functioneren. In het algemeen zal een persoon die ontdekt dat hij in staat is tot deze eigen vormgeving, die ontdekking met zich meenemen naar elk activiteitssysteem waarin hij verkeert. Wanneer zijn vormingsproces deze ontdekking verdiept, en zijn zelfvertrouwen doet groeien, zal hij eigen herkenbare (stijl)kenmerken van vormgeverschap ontwikkelen, en ook leren volhouden tegen aanpassingsdruk in. Kenmerken, op grond waarvan anderen zeggen: "hij/zij blijft herkenbaar zichzelf, onafhankelijk van zijn rollen of contexten". Het vermogen om eigen herkenbare (stijl)kenmerken vol te houden werd benoemd als '*authenticiteit*'. Omdat deze (stijl)kenmerken volgehouden worden in verschillende activiteitssystemen behoren zij tot de identiteitskenmerken.

Déze identiteitskenmerken, die onder de noemer van authenticiteit vallen, en die de vruchten zijn van vorming, zijn cruciaal voor pedagogisch leiderschap. Wanneer immers een leraar, schoolleider, of andere opvoeder bij een jongere het eigen vormgeverschap

¹ Hoofdstuk 2, § 4.a.

² Zie deel I, hoofdstuk 2, § 3.a / *Vorming en identiteit*.

wil aanmoedigen, dan moet deze daarvan zelf een herkenbaar en niet-imiterbaar voorbeeld zijn. Daarom moet een pedagogisch leider in de eerste plaats werk maken van zijn eigen vorming³.

Hoe kan opleiding daaraan bijdragen?

Wanneer een opleiding eraan bij wil dragen dat schoolleiders werk maken van hun eigen vorming tot en als pedagogische leiders, dan moet die opleiding ondersteuning bieden die op déze vorming gericht is. Eerste voorstellingen van die ondersteuning werden al in deel I beschreven⁴. Wanneer ik nu naga wat het nadien uitgevoerde verkennen en ontwerpen aan die eerste voorstellingen heeft toegevoegd, dan zijn de 18 wenselijke identiteitskenmerken (met hun achtergronden) en de voorstelling van 'vormings-onderzoek' de belangrijkste resultaten.

Deze twee resultaten kunnen aan elkaar ten goede komen. Vormings-onderzoek belichaamt "*ondersteuning van vorming die methodisch-systematisch mikt op hoge kwaliteit, zowel van ondersteuning als van vorming*"⁵. Bovendien impliceert deze vorm van onderzoek de noodzaak om, via het *kanaliseren*, de ondersteuning te richten op (en in te perken tot) een specifiek aspect van vorming. De 18 identiteitskenmerken kunnen dus ten goede komen aan het onderzoek, als richtinggevend kader en als hulpbron, om het eliciteren en kanaliseren bewust te richten op aspecten van pedagogisch leiderschap. En vice versa kan het onderzoek ten goede komen aan het formuleren van wenselijke identiteitskenmerken, omdat te verwachten is dat ook de formuleringen van deze kenmerken onder invloed van dergelijk onderzoek verbeterd zullen worden⁶.

In de conclusies over vormings-onderzoek⁷ werd tevens het belang genoemd van spontaan opkomende, en (nog) niet onderzoeksmatig toegespitste, vormen van ondersteuning. Ook een opleiding voor schoolleiders zal daarvoor uiteraard ruimte moeten creëren. Maar, in aanvulling daarop is het van belang dat de opleiding ook goede voorbeelden laat zien van methodisch-systematische en onderzoeksmatig toegespitste ondersteuning. Door het ervaren van dergelijke toegespitste ondersteuning van hun eigen vorming kunnen de schoolleiders immers geïnspireerd worden, om ook in hun eigen school opbloeiende vormen van ondersteuning aan te vullen en te verbeteren met behulp van methodisch-systematisch onderzoek.

Zoals eveneens in deel III werd betoogd, berust dit methodisch-systematische onderzoek op het inzicht (de 'perspectief-uitbreiding'), dat 'ondersteuning' ook opgevat

³ Zie deel I, hoofdstuk 2, § 3.c / *Het pedagogisch leiderschap van leraren en Het (ped)agogisch leiderschap van schoolleiders*.

⁴ Zie deel I, hoofdstuk 2, § 3.c / *Het (ped)agogisch leiderschap van opleiders van schoolleiders*.

⁵ Zie deel III, hoofdstuk 17, § 3.c / *Conclusies*.

⁶ Zie deel III, hoofdstuk 17, § 3.c / *2. Kanaliseren en toetsen / Bij vormings-onderzoek*.

⁷ Deel III, hoofdstuk 17, § 3.c / *Conclusies*.

en gebruikt kan worden als 'onderzoeksbril', die in staat stelt om een specifieke modus van vorming beter (qua scherpheid en integratie) te ervaren⁸. Wanneer ik dit inzicht nu toepas op de hierboven (pagina 671) geformuleerde vraag:

- *welke relatie (gevolglijkheid) tussen het functioneren in een opleiding enerzijds (a), en specifieke identiteitskenmerken anderzijds (b), kan bewerkstelligen dat (a) bijdraagt aan de ontwikkeling van (b)?*

dan is een gedeeltelijk antwoord:

- *vormings-onderzoek (waarbij aan het functioneren in een opleiding (a) de vorm gegeven wordt van gericht eliciteren en kanaliseren) creëert een relatie tussen (a) en (b) waarmee het beoogde 'bewerkstelligen' niet alleen gericht bevorderd wordt, maar ook toetsbaar en verbeterbaar gemaakt wordt.*

Conclusie

Het methodisch-systematisch ondersteunen van de vorming van schoolleiders, in het kader van een opleiding, door middel van vormings-onderzoek, vraagt nog om nadere uitwerking. In de eerste plaats vanwege het belang om als opleiding een inspirerend en leerzaam voorbeeld van dergelijk onderzoek neer te zetten. In de tweede plaats omdat (zoals nog zal blijken) via deze onderzoeksvorm het 'schakelprobleem' (hoofdstuk 2, § 4.a) opgelost kan worden.

Om deze redenen zal hierna voorrang gegeven worden aan een eerste ontwerp, c.q. conceptueel prototype, van vormings-onderzoek dat onderdeel kan zijn van een opleiding voor schoolleiders. Een prototype dat tegelijkertijd zodanig ontworpen zal worden dat met behulp van geschakeld vormings-onderzoek een onderzoeks-keten gecreëerd kan worden, die de samenhang tussen ondersteuning van vorming van schoolleiders (door een opleiding) en kansen op vorming van leerlingen duidelijk en verbeterbaar maakt.

1.b Eerste ontwerp van geschakeld onderzoek

Speelruimte binnen opleidingskader

Wanneer ik voor dit ontwerp de gedachtegang over vormings-onderzoek volg die aan het einde van deel III werd uiteengezet⁹, dan begint de voorbereiding van het onderzoek met beraad en besluitvorming over een opleidingskader waarbinnen dit onderzoek zich kan afspelen, en een zinvolle functie kan vervullen binnen de opleiding als geheel. Zodoende wordt er een 'speelruimte' afgebakend waarbinnen het vormings-onderzoek zich relatief autonoom kan ontplooiën. En tegelijk wordt er een omgeving gecreëerd

⁸ Hoofdstuk 17, § 3.c / 4. Eisen.

⁹ Zie voor de met name aan Gerard de Zeeuw ontleende benadering van vormings-onderzoek: deel III, hoofdstuk 17, § 3.c, 2. *Kanaliseren en toetsen / Bij vormings-onderzoek*.

waarbinnen het 'onderzoeksspel' levensvatbaar kan zijn. Een dergelijk opleidingskader zou de volgende elementen kunnen bevatten:

- Een visie op het belang van 'vorming' binnen onderwijs lijkt mij in dit geval een onmisbaar onderdeel. De opleiding kan zich bijvoorbeeld aansluiten bij Biesta's formulering van de drie 'doeldomeinen' van onderwijs¹⁰, of zelf een eigenzinnige variant daarvan ontwikkelen¹¹.
- Een element dat iedere opleiding voor schoolleiders nodig heeft is een visie op de domeinen, waarbinnen een schoolleider leiding geeft aan de ontwikkeling van de school, en waartoe een opleiding dus moet opleiden. Deze domeinen worden wel aangeduid als '*sturingsdomeinen*'. Het model van deze domeinen van Ben van der Hilst (2007) laat bijvoorbeeld duidelijk zien langs welke lijnen het 'sturen' van een schoolleider uiteindelijk van invloed is op het leren (inclusief de vorming) van leerlingen¹².
- Een derde element, dat nodig is om vormings-onderzoek in een kader te positioneren, is een globale visie op de functies van onderzoek in dienst van schoolontwikkeling. Scholen worden tegenwoordig wel aangeduid als 'onderzoekende scholen' (Krüger et al., 2014), en het leiderschap van schoolleiders als 'onderzoeksmatig leiderschap' (Vermeulen, 2007)¹³.
- Et cetera.

Selectie en basisafspraken

Wanneer op deze wijze de beginvoorwaarden voor vormings-onderzoek gecreëerd zijn, kan uit de opleiders een onderzoeksteam gevormd worden. Zoals eerder betoogd is daarbij essentieel dat er teamleden geselecteerd worden die gemotiveerd zijn om hun 'onderzoeksblik' scherp te stellen op het belang van vorming, en om binnen het kader van het onderzoek alle andere belangen, waarden of doelen 'tussen haken te zetten'¹⁴.

De kanalisering die het onderzoeksteam nodig heeft om haar focus te bepalen en vol te houden kan tot uitdrukking komen in een aantal basisafspraken, zoals bijvoorbeeld:

¹⁰ Zoals mijn studie daar ook bij aansloot, zie deel I (hoofdstuk 1, § 3).

¹¹ Zoals ook deze studie uitgaat van een eigenzinnige variant. In plaats van de karakterisering van de derde dimensie door Biesta, als 'subjectificatie' of 'persoonsvorming', koos ik 'ondersteuning van vorming', met een opvatting van 'vorming' als het leren van vormgeverschap.

¹² Het ondersteunen van vorming zal waarschijnlijk niet een 'apart' sturingsdomein vereisen, maar een bepaalde kwaliteit van 'sturen' in elk van de bekende domeinen. In de termen van Van der Hilst zal het gaan om 'aansturen op emergentie' (2015), en in mijn eigen eerder geformuleerde termen zal het gaan om 'aansturen op zelfsturing' (2004).

¹³ Hier is volstaan met het noemen van enkele Nederlandse publicaties. In aanvulling daarop zou ook een groot aantal internationale publicaties genoemd kunnen worden.

¹⁴ Zie deel III, hoofdstuk 17, § 3.c, 2. *Kanaliseren en toetsen / Bij vormings-onderzoek*.

1. Uitgangspunten. Men kan afspreken om voor het onderzoek uit te gaan van volgende aannames:
 - a. Iedere leerling (ieder mens) kan beschouwd worden als een zich ontwikkelende bron van vormgeving, ofwel als een zich ontwikkelende vormgever (een ZOV).
 - b. Een belangrijke (zingevende) inspiratiebron voor de ontwikkeling van het eigen vormgevend vermogen, is het ondersteunen van de ontwikkeling van het vormgevend vermogen van *anderen*.
2. Onderzoeks-externe doelen¹⁵. Men kan afspreken dat het onderzoek in dienst staat van de volgende doelen:
 - a. Het bijdragen aan verbetering van de ondersteuning van de vorming van schoolleiders tot en als pedagogische leiders, door de opleiders.
 - b. Het bijdragen (onder andere via 'dubbele bodem werking') aan verbetering van ondersteuning van de vorming van leraren tot en als pedagogische leiders, door schoolleiders.
3. Onderzoeks-interne doelen. Men kan afspreken dat het onderzoek gericht is op het verkrijgen van de volgende kennis-opbrengsten:
 - a. Heldere en gedetailleerde beelden van de ontwikkeling van iedere deelnemende schoolleider tot en als pedagogisch leider.
 - b. Heldere en gedetailleerde beelden van kanaliseringen (werkwijzen en hulpmiddelen: interventies, werk- en spelvormen, interfaces) die situationeel helpen om uitingen van vormgevend vermogen van deelnemers te ontlokken, te ordenen, te vergelijken, te analyseren, te beoordelen, in verband te brengen met ..., et cetera.
 - c. Generieke inzichten en suggesties die opleiders (en schoolleiders, via de dubbele bodem) uitnodigen om (beter) situationeel maatwerk van kanaliseren (en eliciteren) te maken.

Op zodanige wijze dat a, b en c over en weer aan elkaars verbetering bijdragen.

Taalspelverwerving en zelfonderzoek

Vormings-onderzoek is een taalspel dat, zoals elk onderzoeks-taalspel, om een goede mate van beheersing vraagt. Bovendien moeten de leden van het onderzoeksteam zich de taal, de onderzoeksactiviteiten en haar regels tot *gedeeld* eigendom maken. Een interne scholing en training, in het gebruik van de concepten die voor dit onderzoek als 'bril' dienen, en in het kanaliseren (en eliciteren) van de interactievormen die geschikt zijn om vorming ter sprake te brengen, en met de manieren waarop de opgeroepen ervaren-

¹⁵ Zie, voor het onderscheid tussen 'onderzoeks-externe' en 'onderzoeks-interne' doelen, het voorbeeld van het 'elfje' in deel III, hoofdstuk 17, § 3.c, 2. *Kanaliseren en toetsen / Bij vormings-onderzoek*. Omdat de spelers *in* het onderzoeks-spel zich concentreren op de spel-doelen (en tijdelijk alle andere doelen 'tussen haken zetten'), fungeren voor hen de spel-doelen als 'hoogste doelen'. Van *buitenaf* gezien is het onderzoeks-spel om bepaalde externe redenen gelanceerd, en heeft het ook spel-externe doelen, zoals -in het geval van het elfje- een pedagogisch doel.

gen geordend, vergeleken en met elkaar in verband gebracht kunnen worden, lijkt mij daartoe een goede manier te zijn.

Daarom kan ik mij voorstellen dat het onderzoeksteam (begeleid door externen voor de gebieden waarmee de leden onvoldoende bekend zijn) eerst maar eens begint met een interne scholing en training, zoals hieronder exemplarisch geschetst:

- Na een eerste verkenning van verschillende benaderingen om het concept 'vorming' te bepalen, kan het team een eigen keuze maken. Het gekozen vormingsconcept kan dan nader aan eigen ervaringen getoetst en verbeterd worden. Bijvoorbeeld door onderling te eliciteren dat ieder teamlid de eigen biografie als ZOV in een verhaal tot uitdrukking brengt. Men kan daarbij experimenteren met verschillende vraagvormen zoals "wat doet jou *leven* in de ware zin van het woord?", "wat inspireert jou om zélf in actie te komen?", "in welke zaken wil je beslist geen naprater of spreekbuis van anderen zijn?", "van wie heb je daarbij ondersteuning of aanmoediging ervaren?", "wie of wat heeft je daarin tegengewerkt, en hoe heb je daarop gereageerd?", "kun je voorbeelden noemen van negatieve gebeurtenissen die je achteraf toch veel gebracht hebben, en je positief geïnspireerd hebben?", "wat heb jij geleerd van al die positief of negatief inspirerende ervaringen", et cetera, Daarbij kunnen de teamleden tegelijk alert zijn op de interactie die ontstaat, en in terugblik analyseren wanneer en waarom de interactie soms intensiever was dan op andere momenten, en soms wel en dan weer niet goed gefocused was op vorming, et cetera. Tenslotte kunnen de teamleden nagaan wat deze onderlinge oefening hen geleerd heeft in verband met toekomstige toepassing op schoolleiders.
- Op grond van een nadere verkenning van visies op 'vorming' (c.q. 'subjectwording') kan het vormingsconcept verder verdiept en genuanceerd worden. Wanneer zij bij deze verkenning de lijnen volgen die in deze studie gevolgd werden, dan kunnen zij de 'drie dimensies' van vorming toetsen aan hun eigen ervaringen. De opbrengst aan biografieën kunnen de teamleden gebruiken om te ontdekken of en hoe zij de drie dimensies van vorming (zingevend spelen en genieten, zingevende verantwoordelijkheid, zingevende dankbaarheid) in die verhalen herkennen, welke vragen het beste helpen om die dimensies te herkennen, en hoe dit helpt om vormingservaringen, en aspecten van vorming, te ordenen en met elkaar in verband te brengen. Ook in terugblik op deze gesprekken zal het weer van belang zijn om te reflecteren op de vraag wat bijdroeg aan het vasthouden van kanaliserende interactie, en wat deze oefening hen heeft geleerd met het oog op toekomstige toepassing.
- Vervolgens kan het gesprek zich nader concentreren op de vraag, hoe deze drie dimensies van vorming te herkennen zijn in ieders ontwikkeling binnen één of meer van de culturele disciplines waar schoolvakken van afgeleid zijn. Uiteraard weer gevolgd door een reflectie op het gesprek, zoals hierboven aangeduid. Begeleidend bij dit gespreksdeel kan een filosofische inbreng (van een externe deskundige) van belang zijn, om aan de hand van de ontwikkeling van disciplines te verkennen welke kansen op vorming zij te bieden hebben, en welke wisselwerkingen er waren, en er nog steeds zijn, met mens- en wereldbeelden, en met levensbeschouwelijke en peda-

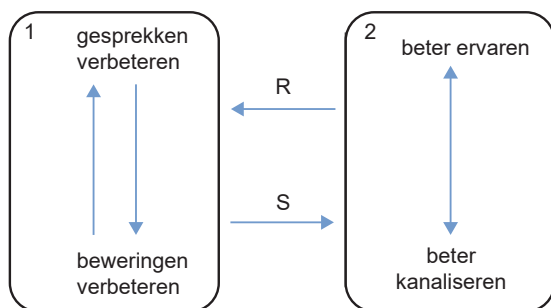
gogische positiekeuzes (zoals in deze studie verkend werd met betrekking tot exacte disciplines, maar net zo goed verkend kan worden met betrekking tot andere disciplines).

- Daarna kan het gesprek ingaan op de vraag, in hoeverre ieder teamlid al dan niet vormende ervaringen heeft opgedaan in zijn onderwijsloopbaan, of er ruimte en aandacht was voor 'vorming', of de 'vorming' al dan niet betrekking had op het 'vak' of alleen op zaken daarbuiten, welke dimensies van vorming aan de orde kwamen, welke leraren ondersteunend waren of juist ontmoedigend, of er alleen sprake kon zijn van vorming 'tegen de verdrukking in', et cetera. Uiteraard weer gevolgd door reflectie op het gesprek.
- In vervolg daarop kan het gesprek ingaan op de vraag, in hoeverre teamleden ervaringen hebben opgedaan met het ondersteunen van *anderen* in hun vorming, in of buiten het onderwijs, in hoeverre deze ervaringen ook voor henzelf inspirerend, zingevend en vormend waren, en in hoeverre die ervaringen verband hielden met inwijding in een schoolvak. Daarbij kunnen uiteraard de bovengenoemde onderscheidingen, zoals tussen positief en negatief inspirerende ervaringen, en tussen de drie dimensies van vorming opnieuw getoetst worden op hun waarde voor ordenen, vergelijken en ontdekken van samenhangen. Uiteraard weer gevolgd door reflectie op het gesprek.
- Na een introductie van het begrip 'identiteitskenmerk' kunnen de deelnemers uitgenodigd worden om zich te bezinnen op de vraag, *welke identiteitskenmerken zij voor zichzelf belangrijk vinden om goed (en beter) te kunnen fungeren als (ped)agogische opleiders van schoolleiders*. Een voorbeeld, in de trant van de identiteitskenmerken die deze studie opleverde, kan daarbij als hulpmiddel gebruikt worden. In antwoord op bovenstaande vraag kunnen zij formuleren (vrij variërend op de voorbeelden):
 - + welke identiteitskenmerken zij bij zichzelf herkennen als belangrijk en goed ontwikkeld,
 - + welke identiteitskenmerken zij voor zichzelf belangrijk vinden, maar nog niet goed (genoeg) ontwikkeld,
 - + welk(e) identiteitskenmerk(en) zij zichzelf met prioriteit ten doel willen stellen, als richtinggevend voor hun eigen vorming, met het oog op de ondersteuning van schoolleiders die voor hen ligt.

Deze voorbereidende scholing en training is bedoeld om uiteindelijk voldoende ervaringen, werksuggesties, concepten, taal en andere hulpmiddelen verzameld te hebben, om het onderzoeksteam in staat te stellen een eerste ontwerp te maken voor het voorgenomen vormings-onderzoek waarbij de deelnemende schoolleiders participierend voorwerp van onderzoek zullen zijn¹⁶.

¹⁶ Wat zeker niet uitsluit dat zij later, op grond van hun ervaringen met het begeleiden van deelnemers, een voortzetting van hun eigen scholing en training zullen ondernemen.

Figuur 1



Daarom is het van belang dat de teamleden, als onderdeel van het te verwerven taalspel, zich er -vanaf een welgekozen moment- ook in oefenen om de twee verschillende fasen van vormings-onderzoek (zie figuur 1)¹⁷ goed uit elkaar te houden, iedere fase-overgang helder te markeren, en bewust om te schakelen naar de andere spelregels. Omdat er in dit geval een 'personele unie' is tussen de deelnemers aan de interacties van vak 1 en van vak 2, is dit 'schakelen' wellicht iets lastiger, maar daarom niet minder belangrijk. Het inschakelen van een ter zake deskundige (eventueel externe) collega-onderzoeker, als coach of adviseur, kan hierbij helpen.

In terugblik op de hierboven geschetste stappen in het toetsen van concepten aan eigen ervaringen, kan herkend worden dat het 'trainings-achtig' eliciteren, kanaliseren, ordenen en vergelijken van eigen ervaringen steeds fasen betrof met het karakter van vak 2¹⁸. Daarnaast kan herkend worden dat zowel de bijeenkomsten met een 'scholings-karakter' die ertoe dienden om kennis te maken met relevante concepten en achtergronden, als de reflecties op het meegemaakte kanaliserende proces en zijn opbrengsten, als de reflecties op de vraag hoe één en ander toepasbaar is bij onderzoek onder schoolleiders, fasen waren met het karakter van vak 1. In dit geval verwijst de 'R' in figuur 1 zowel naar 'rapportage' als naar 'reflectie'.

Het is de bedoeling dat de teamleden zich bij dit alles al doende het *taalspel* eigen maken dat bij deze onderzoeksbenadering hoort. Het taalspel, waarin 'het ondersteunen van vorming' methodisch toegespitst wordt op 'het eliciteren en kanaliseren van het vormgevend vermogen van een ZOV'. Het taalspel, waarbij steeds een specifieke 'bril' wordt ontworpen of bijgesteld (in de vorm van termen, werkvormen, beoogde interactie, interventies) die specifieke aspecten van het vormgevend vermogen van ZOV-ers aan het licht moeten brengen¹⁹. Het taalspel, waarbij vak 2 staat voor de fase waarin een spe-

¹⁷ Zie ook deel III, hoofdstuk 17, § 3.c, figuren 35 en 41.

¹⁸ Zoals beschreven in het voorbeeld van het 'elfje', in deel III, hoofdstuk 17, § 3.c / 2. *Kanaliseren en toetsen / Bij vormings-onderzoek*.

¹⁹ Waarbij de constructie van deze 'bril' uiteraard gefundeerd dient te zijn op bestaande theorieën en/of plausibele hypothesen.

cifieke 'bril' wordt toegepast, en vak 1 voor de fase van rapportage van en reflectie over de opbrengst van die toepassing²⁰, en van het weloverwogen vormgeven aan een nieuwe of aan een verbeterde 'bril'²¹.

Naast de gemeenschappelijke verwerving van het taalspel van vormingsonderzoek levert deze scholing en training -als het goed gaat- voor de teamleden nog meer opbrengst op. Het verrijken van de taal waarin zij ervaringen met en rond vorming kunnen beschrijven, verrijkt ook die ervaringen zelf. Betere nuanceringen, onderscheidingen, en precisie in taal bewerkstelligen dat ook ervaringen genuanceerder, gedetailleerder en preciezer worden. Deze opbrengst wordt bedoeld met het '*beter ervaren*' in vak 2 van figuur 1. Wanneer de scholing en training goed functioneren dan zullen de opleiders zich hun vormingservaringen scherper herinneren, en daarom ook beter gemotiveerd en in staat zijn om 'werk van hun eigen vorming' te maken²², wat -zoals al beargumenteerd werd in deel I²³- een belangrijke voorwaarde is om de schoolleiders in hun vorming te kunnen ondersteunen. Bovendien zullen deze ervaringen de motivatie van de opleiders versterken om de vorming van de schoolleiders te ondersteunen (in de vorm van eliciteren en kanaliseren) omdat zij zich beter herinneren hoe anderen hen in hun vorming ondersteund hebben, en zij hun dankbaarheid daarvoor bewuster ervaren. Daarnaast zal deze motivatie versterkt worden omdat zij zich beter herinneren welke voldoening het geeft om een ander zich te zien ontwikkelen tot en als creatieve vormgever, en om een ander daarin te ondersteunen.

Vorbereidend onderzoek bij deelnemers

Wanneer het onderzoeksteam van opleiders zich op bovenstaande wijze voldoende heeft voorbereid, kunnen zij in het kader van de opleiding vormings-onderzoek uitvoeren bij de deelnemende schoolleiders. Daarbij stel ik mij voor dat zij ook bij de schoolleiders beginnen met een voorbereidend onderzoek, en zich eerst richten op 'tussendoelen', als eerste stap naar de doelen die op pagina 675-676 geformuleerd werden.

De onderzoeks-externe tussendoelen kunnen bijvoorbeeld neerkomen op:

- ²⁰ Welke reflectie (mede) inhoudt dat de theorieën en hypothesen die aan de toepassing ten grondslag lagen getoetst worden. In dit geval heeft de reflectie ook betrekking op de vermoede mogelijkheden of complicaties van transfer naar onderzoek bij schoolleiders.
- ²¹ Te vergelijken met het methodisch over en weer verbeteren van modellen, experimenten en observaties in de fysica (zie deel III, hoofdstuk 17, § 3.c / 2. *Kanaliseren en toetsen / Bij fysisch onderzoek*).
- ²² In feite hebben zij -als het goed is- door het actief deelnemen aan deze scholing en training al werk gemaakt van hun vorming.
- ²³ Zie hoofdstuk 2, § 3.c / *Het (ped)agogisch leiderschap van opleiders van schoolleiders*.

- a. Dat de schoolleiders vorm geven aan hun eigen biografie als ZOV-ers, met toespitting op hun ervaringen als ontvanger en als geveer van ondersteuning bij vorming, en hun ervaringen als ontvanger en als geveer van onderwijs.
- b. Dat de schoolleiders, door de verwerving van een taal die het beschrijven van meer nuances, details, en samenhangen van en rond vorming mogelijk maakt, het belang van hun eigen vorming beter beseffen, en daarom gemotiveerd en in staat zijn om in het vervolg met meer toewijding 'werk van hun eigen vorming te maken'.
- c. Dat de schoolleiders, wanneer zij zich beter herinneren hoe anderen hen in hun vorming ondersteund hebben, hun dankbaarheid voor die ondersteuning bewuster ervaren. En, dat zij toelaten dat deze dankbaarheid hun motivatie versterkt om anderen te ondersteunen.
- d. Dat de schoolleiders, wanneer zij zich beter herinneren hoe zij anderen zich hebben zien ontwikkelen tot en als creatieve vormgevers, en hoe zij geïnspireerd werden om daar iets aan bij te dragen, opnieuw en versterkt gemotiveerd worden om bij te dragen aan de vorming van hun leraren tot en als pedagogische leiders.
- e. Dat de schoolleiders mogelijkheden gaan zien om zelf bij leraren in hun school het vormgeven aan de eigen biografie als ZOV te eliciteren en te kanaliseren.

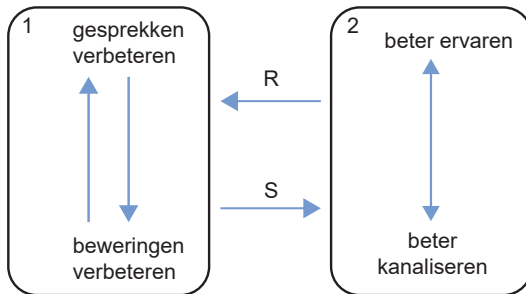
De onderzoeks-interne tussendoelen, in de vorm van beoogde kennis-opbrengsten, kunnen neerkomen op:

- a. Heldere en gedetailleerde beelden van de biografieën als ZOV van iedere deelnemende schoolleider, met name als ontvanger en geveer van ondersteuning bij vorming, en als ontvanger en geveer van onderwijs.
 - b. Heldere en gedetailleerde beelden van kanaliseringen (werkwijzen en hulpmiddelen: interventies, werk- en spelvormen, interfaces) die situationeel helpen om deze biografieën te ontlocken, te ordenen, te vergelijken, te analyseren, te beoordelen, in verband te brengen met ..., et cetera.
 - c. Generieke inzichten en suggesties die opleiders (en schoolleiders, via de dubbele bodem) uitnodigen om (beter) situationeel maatwerk van kanaliseren (en eliciteren) te maken.
- Op zodanige wijze dat a, b en c over en weer aan elkaars verbetering bijdragen.

Dit voorbereidend onderzoek kan globaal vormgegeven worden volgens het stramien dat de opleiders eerder zelf gevolgd hebben bij hun zelfonderzoek (pagina 676-680). Met het verschil dat de opleiders nu, als onderzoekers, eerstverantwoordelijk zijn voor het eliciteren en kanaliseren van het werken door de schoolleiders aan en rond hun biografieën als ZOV-ers in vak 2. In principe is vak 1 nu het domein van het onderzoeksteam van opleiders waarin gerapporteerd wordt over de opbrengsten van het onderzoekswerk in vak 2, en over de gebruikte elicitering- en kanaliseringmethode, over de ervaringen met de kanalisering interactie die ontstond, et cetera. Tevens behoort tot dit domein dat de rapportages kritisch geanalyseerd en geëvalueerd worden ("bevestigen de ervaringen onze aannames?", "kan het eliciteren of kanaliseren verbeterd worden?"),

"wat kan de volgende onderzoeksstap zijn?", et cetera). Deze gesprekken dragen bij aan verbeterd inzicht, en leiden tot suggesties voor de volgende stap in het onderzoek, en voor latere herhalingen (met andere deelnemers) van ditzelfde onderzoek. Het lijkt mij van belang dat de schoolleiders ook deelnemen aan een deel van de gesprekken die tot het domein van vak 1 behoren. Zij kunnen immers ook veel profijt hebben van de rapportages en van gesprekken daarover, omdat zij zelf in een latere fase vergelijkbaar onderzoek kunnen ondernemen onder de leraren van hun school. In de gesprekken waar de schoolleiders aan deelnemen zullen daarom de mogelijkheden, complicaties, en randvoorwaarden van dergelijk vormings-onderzoek voor de eigen scholen centraal staan. Daarnaast zullen de opleiders aparte scholingsactiviteiten voor de schoolleiders organiseren om hen kennis te laten maken met concepten en achtergronden die zij relevant achten, en die in aangepaste vorm dezelfde zijn als de concepten en achtergronden die zij eerder zichzelf eigen gemaakt hebben. Deze scholingsactiviteiten vormen in combinatie met het gemeenschappelijk reflecteren met de opleiders in vak 1 een belangrijk onderdeel van de opleiding van de schoolleiders tot vorming-onderzoekers²⁴. Het is immers de bedoeling dat de schoolleiders zelf mogelijkheden gaan zien om dergelijk onderzoek in de eigen school te ondernemen, en (mede) aangeven hoe de opleiding hen kan ondersteunen om het vertrouwen te bereiken dat zij deze stap kunnen wagen.

Figuur 2



Geschakeld onderzoek tweede lijn

Wanneer de opleiding van de schoolleiders tot vorming-onderzoekers goed verloopt, dan zullen zij op een goed moment gemotiveerd en in staat zijn om leiding te geven aan vormings-onderzoek in hun eigen school. Het maken van voorstellingen van dergelijk onderzoek is hachelijk omdat de betrokken scholen sterk kunnen verschillen in cultuur, schoolontwikkeling, leraar- en leerling-populatie, et cetera. Bovendien is het goed om - indien mogelijk - een bestaande praktijk te kiezen die tot vormings-onderzoek kan worden uitgebouwd. Wanneer de deelnemende schoolleiders besluiten om vorm te geven

²⁴ Een opleiding tot vorming-onderzoeker komt immers op hetzelfde neer als 'opleiding tot methodische vorming-ondersteuner' (zie deel III, hoofdstuk 17, § 3.c / *Conclusies*).

aan vormings-onderzoek, dan zal dat in verschillende scholen verschillende gedaantes aannemen.

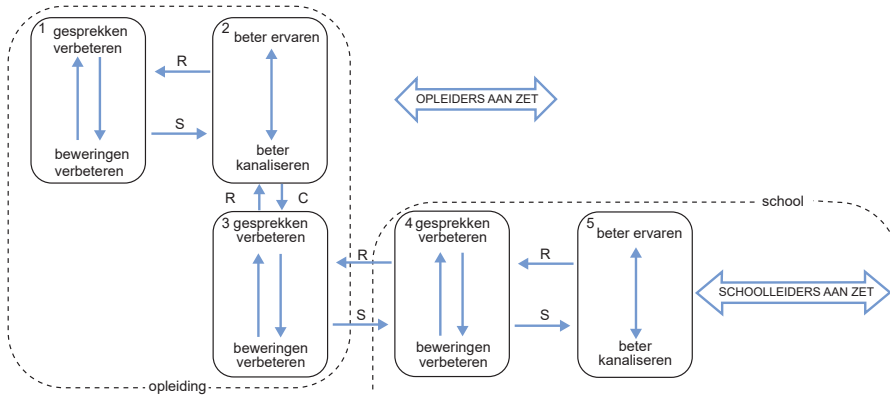
Om mijn voorstelling van dit onderzoek, en van de wijze waarop dit geschakeld kan worden aan het onderzoek binnen de schoolleidersopleiding, nu verder uit te werken moet ik wel één voorbeeld nemen van de verschillende mogelijkheden die zich in de praktijk zullen voordoen.

Als voorbeeld neem ik de situatie waarin een schoolleider, die deelgenomen heeft aan het proces dat in de vorige sub-paragraaf beschreven werd, tot de conclusie komt dat het voor de ontwikkeling van zijn school op dit moment goed van pas komt om een gemeenschappelijke vormingstaal te ontwikkelen. En, dat deze schoolleider mogelijkheden ziet om, samen met leraren die gemotiveerd zijn om over vorming te filosoferen²⁵, nieuwe begrippen aan de eigen vorming van deze leraren te toetsen, en zodoende die begrippen en het taalspel daaromheen verder te ontwikkelen. Een tweede doel daarbij zou zijn, dat niet de vorming van leerlingen, maar nu eens de vorming van de betrokken leraren in het centrum van de aandacht komt te staan. Op die basis zou een schoolleider met een team van gemotiveerde leraren doelstellingen kunnen afspreken die vergelijkbaar zijn met de doelstellingen die in de vorige sub-paragraaf geformuleerd werden.

Het vormings-onderzoek dat zodoende op de school ondernomen wordt kan geschakeld worden aan het voortgaande vormings-onderzoek binnen de opleiding voor schoolleiders. In figuur 3 is een voorstelling van die schakeling afgebeeld.

²⁵ Zoals al beschreven werd in deel III, hoofdstuk 17, § 2.c / *Filosoferen als tweedelijns-ondersteuning van vorming*. Op die plaats werd al een exemplarisch ontwerp gepresenteerd van teamgesprekken die gericht waren op het doel om vorming van leraren te ondersteunen door die vorming te bespreken en te benoemen, en zodoende 'op een voetstuk te zetten'. In de vorm waarin deze gesprekken daar werden voorgesteld hadden zij nog niet de methodisch-systematisch toegespitste vorm van vormings-onderzoek. Maar, wanneer er in de school al ervaring is opgedaan met dergelijke gesprekken, dan vormen zij een praktijk die zich ertoe leent om tot vormings-onderzoek te worden uitgebouwd.

Figuur 3



Toelichting:

- In de sfeer van vak 5 vindt nu het onderzoek plaats naar de biografieën van leraren als ZOV-ers, met accenten op hun ervaringen in het ontvangen en geven van ondersteuning bij vorming, en op hun ervaringen als ontvanger en geveer van onderwijs.
- Vak 4 is de sfeer van de gesprekken die gevoerd worden tussen schoolleiders van de betrokken school, op grond van rapportages door de schoolleider die het onderzoek onder de leraren uitvoert. Deze gesprekken over de opbrengsten van dit onderzoek, en over de door de onderzoeker gebruikte methoden van kanaliseren (inclusief eliciteren) leiden tot suggesties voor beter en toekomstig kanaliseren. In de sfeer van dit vak worden de unieke ervaringen gegeneraliseerd naar het niveau van deze groep van leraren en de kanaliseringen die deze onderzoeker introduceerde.

Zoals ik hiervoor opmerkte kan het ook in deze situatie zinvol zijn om voor de leraren die deelnemen aan het onderzoek enkele scholingsactiviteiten te organiseren, om hen kennis te laten maken met relevante concepten en achtergronden die de schoolleiders zichzelf eerder eigen gemaakt hebben. Daarnaast zal het zinvol zijn dat de betrokken leraren aan enkele van de gesprekken volgens vak 4 deelnemen. De mogelijkheden om gebruikte kanaliseringmethoden te vertalen naar het werken met leerlingen, of om omgekeerd bij leerlingen al toegepaste werkvormen uit te bouwen naar vormings-onderzoek, kunnen dan thema van gesprek zijn. Op die wijze kan ook op dit niveau een 'dubbele bodem' functioneren.

- Vak 3 stelt gesprekken voor die gevoerd kunnen worden in een onderzoeks-interviewsysteem dat binnen de opleiding fungeert. Schoolleiders die op verschillende scholen vormings-onderzoek uitvoeren kunnen in die groep rapporteren over opbrengsten en werkwijzen. De diverse ervaringen worden in die groep zodoende gegeneraliseerd naar een niveau van school-overstijgende algemeenheid. Die generalisering kan nieuw inzicht opleveren over de vraag, welke kenmerken situatiegebonden zijn en welke kenmerken of samenhangen een algemenere geldigheid hebben. Bovendien zullen de schoolleiders elkaar inspireren met suggesties die zij van elkaar kun-

nen overnemen, omdat zij mogelijkheden zien om die naar hun eigen situatie te vertalen.

- Vak 2 is dan het domein waarin, binnen de opleiding, de eigen ontwikkeling van de schoolleiders als ZOV-ers nog steeds voorwerp van aandacht en onderzoek is. Het ontwikkelen en uitvoeren van vormings-onderzoek in de eigen school draagt immers ook bij aan de eigen vorming van de schoolleiders, en het is goed om die vorming te volgen, te documenteren, en te verbeteren, kortom, om die vorming op de wijze van vormings-onderzoek methodisch te ondersteunen.
- De vakken 2 en 3 zijn aan elkaar geschakeld, omdat de betrokken schoolleiders in de 'onderzoek-workshops' van vak 2 hun ervaringen als ZOV rapporteren (pijl R), en de onderzoekers die deze rapportages eliciteren en kanaliseren een deel van de gesprekken in vak 3 hebben meegemaakt als coach (pijl C).
- De vakken 1 en 2 zijn op de al eerder beschreven wijze aan elkaar geschakeld, omdat de opleiders de opbrengsten en de kanaliseringen van hun onderzoek naar de voortgaande vorming van de schoolleiders rapporteren (pijl R), en omdat de gesprekken van vak 1 weer nieuwe suggesties opleveren (pijl S).

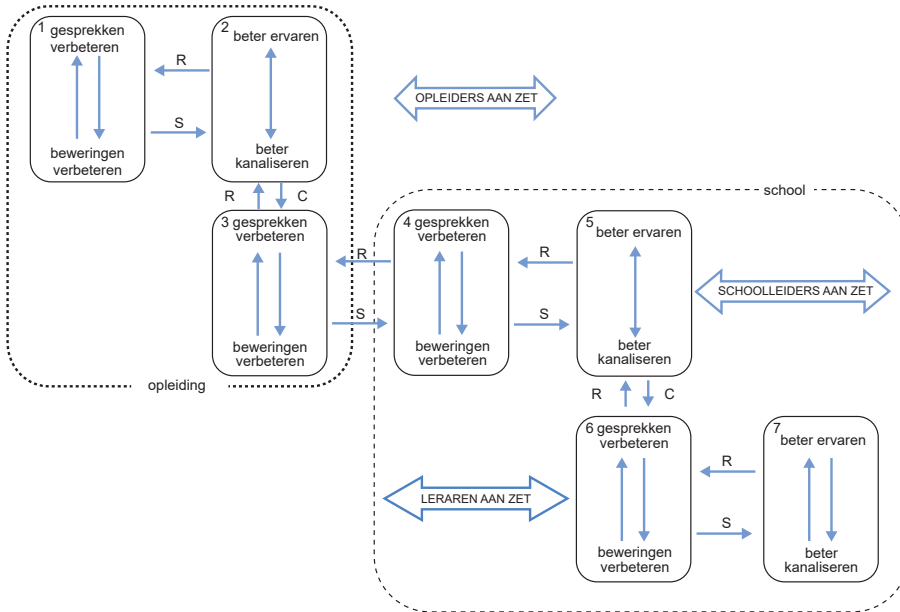
Geschakeld onderzoek eerste lijn

Wanneer op de hier beschreven wijze geconcentreerde aandacht is besteed aan de eigen vorming van de leraren uit een team, dan zal dit ten goede komen aan hun besef van het belang van vorming, en ook aan hun motivatie om de vorming van leerlingen bewuster te ondersteunen dan zij eerder al deden. Vervolgens kan gezien worden welke bestaande praktijken, zoals het in deel III beschreven '*met leerlingen filosoferen over natuurkunde*'²⁶, uitgebouwd kunnen worden tot vormings-onderzoek. In het algemeen zal het verstandig zijn om klein te beginnen, bijvoorbeeld met enkele leraren uit een vaksectie, uit een vakoverstijgend kernteam, of uit een 'bouwteam'.

Om de opbrengsten van een onderzoeks-pilot ten goede te laten komen aan het gehele lerarenteam, aan de schoolleiding, aan de school als geheel, en uiteindelijk zelfs aan een schoolexterne opleiding van schoolleiders, is het goed om ook deze pilot weer op te nemen in een geschakeld systeem. In figuur 4 is een schets daarvan afgebeeld.

²⁶ Zie hoofdstuk 14, §§ 1, 4 en 7, en hoofdstuk 15, § 5.

Figuur 4



Toelichting:

- Vak 7 staat voor de experimenten met vormings-onderzoek die enkele leraren uitvoeren in het kader van hun onderwijs.
- Vak 6 staat voor het team waaraan zij de opbrengsten, kanaliseringen, successen, mislukkingen en andere ervaringen rapporteren. Dit team fungeert daarbij als onderzoeksteam waarbinnen de rapportages kritisch besproken worden, en leiden tot groeiend inzicht en nieuwe suggesties.

Wanneer dit team een kernteam is (in het voortgezet onderwijs), of een bouwteam (in het primair onderwijs), dan zullen zij de vorming van de leerlingen, waar zij gemeenschappelijk verantwoordelijk voor zijn, documenteren en regelmatig bespreken op grond van de onderzoeks-opbrengsten en op grond van andere ervaringen. Dit team zal dan een voorbeeld laten zien van het uitbouwen tot onderzoek van de praktijk die aan het einde van deel III als uitgangspunt genomen werd²⁷.

- Vak 5 staat voor gesprekken in een groter team, waarin de ervaringen met het vormgeven aan onderzoek, die in vak 6 worden opgedaan, gerapporteerd worden (pijl R). Dit kan bijvoorbeeld een studiedag zijn voor het hele schoolteam. In die bijeenkomst kan de aandacht geconcentreerd worden op de vraag wat het ontwikkelen en uitvoeren van het onderzoek betekent voor de betrokken leraren en voor hun collega's. Om die concentratie te bereiken worden hun ervaringen, en de reacties daarop van de

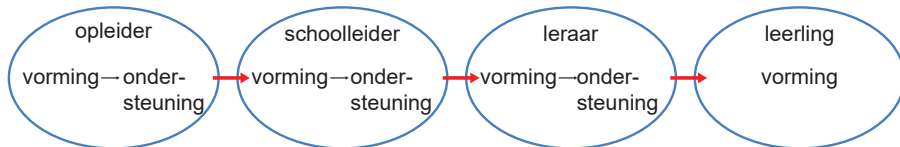
²⁷ Zie hoofdstuk 17, § 3.c, *Bestaande praktijk als uitgangspunt*.

- collega's, door één of meer begeleidende schoolleiders ge-elicitieerd en gekanaliseerd. Die begeleidende schoolleider-onderzoekers zijn op de hoogte van het onderzoekswerk in vak 6 omdat één van hen als coach daarbij betrokken is (pijl C).
- De andere vakken blijven fungeren zoals dit hiervoor al beschreven is. Het verschil is dat, dankzij de schakelingen, opbrengsten van en ervaringen met vormings-onderzoek bij leerlingen doorwerken in vormings-onderzoek bij leraren, en doorwerken in vormings-onderzoek bij schoolleiders. De ontwikkeling van het pedagogisch leiderschap van schoolleiders kan op deze wijze profiteren van de groeiende inzichten en expertise die dit geschakelde systeem voortbrengt. Concepten en hypothesen rond vorming worden op de verschillende niveaus getoetst en verbeterd, en in wisselwerking daarmee wordt het pedagogisch leiderschap van leraren en schoolleiders verbeterd, evenals de kwaliteit van het vormgeverschap dat leerlingen ontwikkelen dankzij de kansen die het onderwijs hen daartoe biedt.

Antwoorden op het schakelprobleem

Aan het in figuur 4 afgebeelde geschakelde systeem van vormings-onderzoek kunnen nu de antwoorden ontleend worden op het 'schakelprobleem', dat in deel I (hoofdstuk 2, § 4.a) geformuleerd werd. Het 'schakelprobleem' werd in deel I voorgesteld door figuur 5 en geformuleerd in de vorm van vier vragen die een opleider van schoolleiders moet beantwoorden, indien de verbetering van pedagogisch leiderschap een opleidingsdoel is:

Figuur 5



1. Hoe kan ik werk maken van mijn eigen vorming, zodat ik geïnspireerd en bekwaamd word om schoolleiders (beter) in hun vorming tot en als pedagogische leiders te ondersteunen?
2. Hoe kan ik mij voorstellen dat de ondersteuning, die onze opleiding en mijn persoonlijke interacties bieden, deze schoolleiders effectief in hun vorming tot en als pedagogische leiders ondersteunt; en hoe kan ik mij voorstellen dat de effectiviteit van deze ondersteuning getoetst en verbeterd wordt?
3. Hoe kan ik mij voorstellen, dat ik erop vertrouwen kan dat de door onze opleiding ondersteunde schoolleiders effectief de leraren in hun vorming tot en als pedagogische leiders ondersteunen; en hoe kan ik mij voorstellen, dat ik erop vertrouwen kan dat de effectiviteit van die laatste ondersteuning ook getoetst en verbeterd wordt?
4. Hoe kan ik mij tenslotte voorstellen, dat ik erop vertrouwen kan dat de aldus ondersteunde leraren de vorming van leerlingen effectief ondersteunen; en hoe kan ik mij

voorstellen dat ik erop vertrouwen kan dat ook de effectiviteit van die laatste ondersteuning getoetst en verbeterd wordt?

Het antwoord op de eerste vraag kan op grond van het voorafgaande (pagina 676-680) inhouden dat de opleiders zich gezamenlijk een onderzoeks-taalspel kunnen verwerven met behulp waarvan zij hun eigen vormings-biografie kunnen vormgeven en onderzoeken. Om dit te doen kunnen zij verschillende werkvormen ontwikkelen die geschikt zijn om een dergelijk biografie bij elkaar te eliciteren en te kanaliseren, zodat kenmerken en samenhangen vergeleken en geanalyseerd kunnen worden.

Ten behoeve van dit alles kunnen de opleiders aan literatuur over vorming concepten ontleen die helpen om genuanceerder, gedetailleerder en preciezer over vorming te denken en te spreken, en om zodoende vorming ook beter te ervaren. Concepten, zoals de in deze studie geïntroduceerde onderscheidingen tussen positief en negatief inspirerende ervaringen, en tussen de drie dimensies van vorming. Aan hun eigen en elkaars biografieën kunnen zij de bruikbaarheid van deze concepten toetsen en zich deze concepten toe-eigenen als onderzoeksinstrumenten.

Gezien de onderwijs-context kunnen de opleiders zich bij het kanaliseren van elkaars vormings-biografieën op den duur concentreren op de ondersteuning die onderwijs en vakopleiding (al dan niet) aan hun vorming hebben geboden, aan welke dimensies van vorming dit heeft bijgedragen, en wat of wie daarin van betekenis is geweest. Daarnaast kunnen zij zich concentreren op hun ervaringen met het ondersteunen van vorming van *anderen*. Hoe hebben zij ervaren dat leerlingen of leraren hun vormgeverschap (al dan niet) konden ontwikkelden in onderwijscontext? Hebben zij ervaren dat en hoe dit vormgeverschap, vooral in het begin, kwetsbaar kan zijn? Wanneer voelden zij zich geroepen om ondersteuning te bieden, hoe hebben zij dit gedaan, en welke ervaringen leverde dit op?

Op grond van dit alles kunnen opleiders zichzelf en elkaar motiveren en bekwamen om, als aspect van de opleiding, vorm te geven aan vergelijkbaar vormings-onderzoek bij de deelnemende schoolleiders.

In antwoord op de tweede vraag kunnen de opleiders zich voorstellen dat de uitvoering van dat onderzoek bij de schoolleiders ertoe leidt dat deze hun persoonlijke vorming, en de waarde daarvan, duidelijker gaan ervaren. En, dat deze ervaringen leiden tot voornemens om de eigen vorming minder te verwaarlozen en er meer werk van te maken.

Maar, de school is een plaats waar cultuur wordt doorgegeven. Daarom zullen de opleiders bij hun vormings-onderzoek onder schoolleiders een accent leggen op de vraag, "wat heeft jou geïnspireerd in de cultuur-elementen die aan jou zijn doorgegeven?". Of, in andere woorden, "welke elementen uit doorgegeven cultuur hebben jou doen leven?". Uiteraard moet dan ook naar de keerzijde gevraagd worden: "welke elementen uit doorgegeven cultuur waren voor jou verstikkend?". En: "onder welke condities konden elementen die aanvankelijk inspirerend waren hetzij verder tot bloei komen, hetzij ontaarden tot benauwende of verstikkende elementen?".

De opleiders kunnen zich voorstellen dat dergelijk onderzoek de schoolleiders kan inspireren om van de school een plaats te maken waar doorgegeven cultuur de leerlingen zoveel mogelijk inspireert en niet verstikt, indien het lukt om de reacties op dergelijke vragen op goede wijze te kanaliseren, te benoemen, te vergelijken, te ordenen, en samenhangen te ontdekken. Zij kunnen zich voorstellen dat dankbaarheid, voor alles uit doorgegeven cultuur dat hen zelf 'heeft doen leven', hen motiveert om van de school vooral een plaats te maken waar het 'levengevende' aan leerlingen wordt doorgegeven, en om dit te beschermen en te verdedigen tegen alles wat dit bij hen kan verstikken. Zij kunnen zich voorstellen dat hun onderzoek op deze wijze kan bijdragen aan de vorming van de schoolleiders tot en als pedagogische leiders.

Zij kunnen zich ook voorstellen dat de effectiviteit van deze ondersteuning getoetst en verbeterd wordt, omdat deze in de vorm van onderzoek gegoten is. Het risico is immers dat de dankbaarheid van de één, voor wat hem 'heeft doen leven', leidt tot de projectie dat ditzelfde ook de ander moet doen leven. Ondersteuning van vorming kan dan het karakter van een preek krijgen. Onderzoek gaat uit van het besef dat 'het inspirerende' voor ieder mens verschillend kan zijn, en dat nieuwsgierigheid naar wat het is dat een ander inspireert adequater is dan projectie. Wanneer de opleiders via onderzoek aan het licht brengen wat het is dat deze schoolleiders inspireert, dan zijn hun vermoedens daaromtrent kritisch getoetst en verbeterd.

In antwoord op de derde vraag kunnen de opleiders zich voorstellen, dat de ervaring van schoolleiders om in hun eigen vorming als pedagogisch leider zó ondersteund en gestimuleerd te zijn, zoals dit gebeurde via het vormings-onderzoek in hun opleiding, bewerkstelligt dat zij een vergelijkbare ervaring ook aan hun leraren toewensen. Zij zullen ook beseffen dat een aangepaste herhaling van vormingsonderzoek bij hun leraren noodzakelijk is, omdat het uiteindelijk in een school de leraren zijn die, als 'middelaars', het levengevende van cultuurelementen kunnen doorgeven, en de kwetsbare vorming van leerlingen tegen verstikkende invloeden kunnen helpen verdedigen (totdat en zodat zij die verdediging zelf kunnen overnemen). Uiteraard spreekt het lang niet altijd vanzelf dat de schoolleiders over alle bekwaamheden beschikken om vorm en leiding te geven aan een dergelijke aangepaste herhaling, maar een opleiding is er nu juist voor om er zorg voor te dragen dat zij zich deze bekwaamheden verwerven.

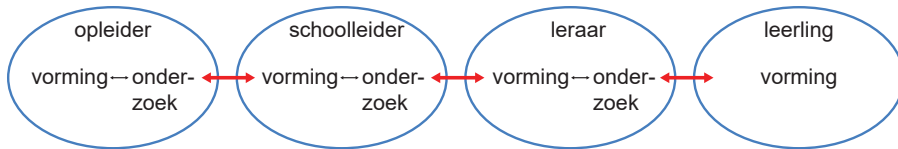
De opleiders kunnen erop vertrouwen dat ook de projecties van de schoolleiders getoetst en verbeterd worden, wanneer zij in staat zijn om vorm en leiding te geven aan vormingsonderzoek bij leraren op hun school.

De opleiders kunnen zich in antwoord op de vierde vraag voorstellen, dat de ervaring van leraren om in hun eigen vorming als pedagogisch leider zó ondersteund en gestimuleerd te zijn, zoals dit gebeurde via het vormingsonderzoek in hun team, bewerkstelligt dat zij vergelijkbare ervaringen ook aan hun leerlingen toewensen. Bovendien heeft dit vormings-onderzoek (en begeleidende scholing) bij hen het besef verheldert en verscherpt, welke elementen in het vak dat zij nu onderwijzen (en in de onderwijsmetho-

den die gehanteerd werden) voor henzelf inspirerend of verstikkende waren. Daarnaast zullen zij zich realiseren dat projecties van hun eigen affiniteit of afkeer niet voor hun leerlingen hoeven op te gaan, en dat hun verwachtingen correctie behoeven vanuit nieuwsgierigheid en onderzoek. Wanneer ook de leraren, voor zover nodig, zichzelf en elkaar bekwamen in vormen van vormings-onderzoek die in hun onderwijs geïntegreerd worden, dan kunnen de opleiders erop vertrouwen dat de effectiviteit van de ondersteuning die leerlingen bij hun vorming ondervinden getoetst en verbeterd wordt.

Tenslotte: dankzij de aaneenschakeling door middel van onderzoek is er niet alleen sprake van doorwerking van links naar rechts, zoals figuur 5 suggereert, maar is er ook doorwerking van rechts naar links. De pijlen van figuur 5 kunnen vervangen worden door dubbele pijlen, zoals afgebeeld is in figuur 6.

Figuur 6



Van rechts naar links:

Het vormings-onderzoek dat de leraren bij leerlingen uitvoeren bewerkstelligt verbetering van de kansen op vorming voor leerlingen, en tegelijk verbetering van het onderzoek (eliciterings- en kanalisering-methoden). In omgekeerde richting draagt dit onderzoek ook bij aan de vorming van de leraren in pedagogisch leiderschap, omdat zij zich meer inzicht verwerven in de vorming van leerlingen, geïnspireerd worden door de vorming van leerlingen die zij zien, en bekwaam worden in het eliciteren en kanalisieren daarvan.

Het vormings-onderzoek dat de schoolleiders bij leraren uitvoeren bewerkstelligt dat de leraren hun eigen vorming in pedagogisch leiderschap, en het belang daarvan, beter gaan ervaren. In omgekeerde richting draagt dit onderzoek ook bij aan de vorming van de schoolleiders in (ped)agogisch leiderschap omdat zij zich meer inzicht verwerven in de pedagogische vorming van leraren, geïnspireerd worden door de vorming van leraren die zij zien, en bekwaam worden in het eliciteren en kanalisieren daarvan.

Het vormings-onderzoek dat opleiders bij schoolleiders uitvoeren bewerkstelligt dat de schoolleiders hun eigen vorming in pedagogisch leiderschap, en het belang daarvan, beter gaan ervaren. In omgekeerde richting draagt dit onderzoek ook bij aan de vorming van de opleiders in (ped)agogisch leiderschap omdat zij zich meer inzicht verwerven in de (ped)agogische vorming van schoolleiders, geïnspireerd worden door de vorming van schoolleiders die zij zien, en bekwaam worden in het eliciteren en kanalisieren daarvan.

Zo doende werken de ervaringen en onderzoeksopbrengsten die in de schoolpraktijk worden opgedaan ook door in de andere richting, tot en met een opleiding van schoolleiders. De verbetering van de vorming-ondersteunende kwaliteit van de school komt

ook ten goede aan de vorming-ondersteunende kwaliteit van een opleiding van schoolleiders.

1.c Overige voorstellingen

De vraagstelling voor deze paragraaf luidde (pagina 671):

Hoe kan men zich voorstellen dat het functioneren van een schoolleider als deelnemer van een opleiding, bijdraagt aan de ontwikkeling van de in antwoord op de eerste vraag gevonden identiteitskenmerken?

In antwoord op deze vraag werd in het voorafgaande prioriteit gegeven aan het uitwerken van een eerste ontwerp voor geschakeld vormings-onderzoek. Maar, naast het functioneren als voorwerp en als uitvoerder van vormings-onderzoek, zijn er nog meer mogelijkheden voor het functioneren van schoolleiders in een opleiding, die kunnen bijdragen aan het ontwikkelen van gewenste identiteitskenmerken.

Het lijkt mij goed om nu een beeld te schetsen van enkele voorbeelden van die andere mogelijkheden.

Filosoferen over vorming in onderwijs

Het filosoferen over de culturele erfenis, die in de vorm van exacte vakken in het onderwijscurriculum is opgenomen, en over de kansen op vorming in onderwijs die deze erfenis met zich meebrengt, droeg in de voorafgaande delen in belangrijke mate bij aan het ontdekken en formuleren van de 18 identiteitskenmerken. Omdat het hier gaat om kenmerken waar schoolleiders zelf vorm aan moeten geven (pagina 672), ligt het voor de hand dat de opleiding zodanig ingericht moet worden dat zij zelf, via eigen filosoferen, voor henzelf wenselijke identiteitskenmerken 'opnieuw uitvinden'.

Als consequentie hiervan moet bovenstaande vraagstelling -achteraf gezien- verbeterd worden tot: *hoe kan men zich voorstellen dat het functioneren van een schoolleider als deelnemer van een opleiding eraan bijdraagt, dat deze zelf zulke identiteitskenmerken formuleert, en zich ten doel stelt, zoals in deze studie in antwoord op de eerste vraag gevonden zijn?*

Onder het voorbehoud dat andere opleiders in andere omstandigheden andere antwoorden op deze vraag moeten geven, geef ik hier antwoord op de vraag "hoe ik mij kan voorstellen dat ...".

Wanneer het voorbereidende vormings-onderzoek onder schoolleiders (pagina 680-682) inderdaad hetzelfde stramien volgt als de voorbereidende scholing en training van de opleiders (pagina 676-680), dan is 'filosoferen over vorming' (in en buiten onderwijs) al een belangrijk ingrediënt van dit onderzoek. Bovendien zal dit voorbereidend onderzoek, vergelijkbaar met de voorbereidende scholing en training van opleiders, afgewisseld moeten worden met scholings-activiteiten om de schoolleiders in de gele-

genheid te stellen om zich de concepten en de taal toe te eigenen die zij nodig hebben bij de onderzoeks-activiteiten.

De voorbereidende scholing en training van opleiders liep uit op een oefening om, gebruik makend van een voorbeeld eigen identiteitskenmerken te formuleren, inclusief één of meer kenmerken die de opleiders verder wilden ontwikkelen en versterken, met het oog op de komende ondersteuning van schoolleiders (pagina 678). Naar analogie daarvan kan ook het voorbereidende vormings-onderzoek onder schoolleiders uitlopen op een oefening die uitmondt in het formuleren van eigen identiteitskenmerken, inclusief één of meer kenmerken die de schoolleider persoonlijk als eerste verder wil ontwikkelen en versterken, met het oog op het verbeteren en versterken van zijn pedagogisch leiderschap.

Ik kan mij voorstellen dat een opleiding daarna werkcolleges organiseert over het vormingspotentieel van schoolvakken zoals: expressievakken, talen, geschiedenis, aardrijkskunde, exacte vakken, biologie, levensbeschouwing, burgerschap et cetera. De schoolleiders zouden daarbij ingeleid kunnen worden in het filosoferen rond disciplines waar schoolvakken een afspiegeling van zijn, en erin ondersteund worden om zelf eerste vertalingen te bedenken naar schoolvakken. Daarbij zou ook de 'dubbele bodem' aan bod kunnen komen van het vertalen van deze werkcolleges in de opleiding naar interne studiedagen voor een schoolteam, en naar scholings-, trainings-, en ontwikkelactiviteiten in deelteams (vakgebonden en vakoverstijgend) van de school. Omdat dit laatste een beroep doet op het vormgevend vermogen van de schoolleiders, kan dit wellicht ook weer uitgevoerd worden in de vorm van vormings-onderzoek. In het verlengde daarvan zouden de schoolleiders aangemoedigd kunnen worden om opnieuw eigen identiteitskenmerken te formuleren, inclusief één of meer kenmerken waar zij prioriteit aan willen geven in het licht van de zone van naaste ontwikkeling die zij voorzien bij leraren en teams van hun school, en bij de ontwikkeling van hun school als geheel (zie kenmerk 18)²⁸. Op hun verzoek kunnen de opleiders meedenken over de vraag hoe de opleiding hun vorming in die richting kan ondersteunen.

Uit het bovenstaande blijkt dat ik mij kan voorstellen dat het zelf (leren) filosoferen en het vormings-onderzoek elkaar aanvullen. Zoals het filosoferen aspecten van en rond vorming conceptueel-beschouwelijk 'op een voetstuk' en 'op de kaart' zet, zo zet vormings-onderzoek op gerichte wijze ook praktische aspecten van en rond vorming 'op een voetstuk' en 'op de kaart'.

Doorwerking naar overige opleidingsaspecten

Wanneer zodoende vorming en pedagogisch leiderschap stevig op de kaart van de opleiding gezet zijn, dan zal dit doorwerken naar de overige opleidingsaspecten. Vormgever-

²⁸ Deel III, hoofdstuk 17, § 4.

schap is nu eenmaal altijd gekoppeld aan iets anders waaraan vormgegeven wordt (of kan worden). Voor een schoolleider is vormgeverschap verbonden met zijn leiderschap in alle 'sturingsdomeinen' (pagina 675) waarvoor hij verantwoordelijk is, en, voor zover zijn leiding in deze sturingsdomeinen direct of indirect van invloed is op kansen op vorming van leerlingen, is pedagogisch leiderschap in veel gevallen een aspect van zijn leiderschap. Bovendien -zoals betoogd in deel I²⁹- is pedagogisch leiderschap nauw verbonden met de authenticiteit van zijn vormgeving aan de integratie van de verschillende aspecten van zijn leiderschap.

Daarom zal blijken dat 'vorming' of 'pedagogisch leiderschap' relevante aandachtspunten zijn, bij allerlei opleidingsaspecten die daar niet direct of expliciet op gericht zijn. Deze aandacht zal weer in het voordeel werken van de specifiek ondernomen activiteiten zoals filosoferen over vorming en vormings-onderzoek, omdat deze specifieke activiteiten verkommeren wanneer zij in het geheel van de opleiding een 'vreemd lichaam' blijven, maar juist zullen opbloeien wanneer het omgekeerde het geval is³⁰.

Dit doorwerken zal zeker ook bevorderen dat er vormen van ondersteuning in de opleiding opkomen (spontaan of met opzet) die (nog) niet zo methodisch-systematisch en toegespitst zijn vormgegeven als vormings-onderzoek. Zoals eerder betoogd³¹ lijkt dit mij een goede zaak, en hoeft ondersteuning niet altijd die methodisch-systematische en toegespitste vorm te krijgen. Het uitbouwen van een bestaande praktijk naar vormings-onderzoek kan aan de orde komen wanneer toetsbare kwaliteitsverbetering gewenst wordt (door betrokkenen zelf en/of door de buitenwacht).

1.d Aanvullende condities

In deel I (hoofdstuk 2, § 1) werd al genoemd dat ook het ontwikkelen van identiteitskenmerken nog niet voldoende is om te bewerkstelligen dat de personen, die zich deze kenmerken verworven hebben, daarmee binnen hun school een constructieve bijdrage kunnen geven, ook al willen zij dat nog zo graag. Daarbij werd verwezen naar enkele onderzoeken die betrekking hebben op het leren van leraren (al dan niet via externe scholing) en de opbrengst daarvan voor schoolontwikkeling³². Uit deze onderzoeken leidde ik een aantal aanvullende condities af, en ik beloofde om die te 'vertalen' naar (vermoedelijke)

²⁹ Deel I, hoofdstuk 2, § 3.c / *Het (ped)agogisch leiderschap van schoolleiders*.

³⁰ Deel III, hoofdstuk 17, § 3.c / 2. *Kanaliseren en toetsen / Bij vormings-onderzoek*.

³¹ Deel III, hoofdstuk 17, § 3.c / *Conclusies*.

³² Recent onderzoek onder leraren van primair onderwijs, voortgezet onderwijs, middelbaar beroeps-onderwijs en speciaal onderwijs bevestigt dit beeld (Brouwer, van Geene, de Vries, Filemon, & Kneyber, 2016). De onderzoekers concluderen dat in veel gevallen de opgedane kennis en vaardigheden geen wezenlijke plek krijgen binnen de organisatie.

aanvullende condities voor de effectiviteit van een in deze studie te schetsen opleiding voor schoolleiders. Het moment is nu gekomen om deze belofte in te lossen.

Daartoe zal ik nu eerst de genoemde aanvullende condities hier herhalen, en vervolgens aangeven hoe deze vertaald kunnen worden naar vermoedelijke aanvullende condities voor een schoolleidersopleiding, zoals de hiervoor geschetste. Deze aanvullende condities hielden in:

1. Het afstemmen van de 'strategische agenda's' van de betrokken activiteitssystemen.
2. Het fungeren van 'grensobjecten' tussen de systemen, waaraan vanuit verschillende systemen bijgedragen wordt, in het licht van gemeenschappelijke belangen en doelen.
3. Het wederkerige karakter van de interactie tussen de activiteits-systemen; het grensverkeer moet het karakter hebben van tweerichtingsverkeer; vernieuwende 'stekjes' moeten door grensgangers in beide richtingen overgebracht worden.
4. Het structurele karakter van grensverkeer; grensoverschrijdingen zijn niet beperkt tot individuele of incidentele gevallen, maar hebben een structureel karakter.
5. Het constructieve gebruik van tegenstellingen, spanningen, conflicten of 'grenservaringen'; deze worden optimaal gebruikt als bron voor innovatie.

Het lijkt mij dat deze aanvullende condities ook geheel van toepassing zijn op de samenwerking tussen een school en een opleiding voor schoolleiders. Deze algemeen gestelde condities kunnen zinvol geconcretiseerd worden naar het hiervoor geschetste beeld van een opleiding voor schoolleiders, die pedagogisch leiderschap accentueert.

De eerste conditie impliceert dat het accent op vorming en op vormings-onderzoek moet passen in de strategische agenda's van zowel de school als de opleiding, en dat beiden bereid moeten zijn om nadere uitwerkingen van die agenda's op elkaar af te stemmen. Dit impliceert ook dat zowel de school als de opleiding formuleren wat de gewenste opbrengst van de samenwerking voor elk van beiden inhoudt, dat zij de realisering van die opbrengsten systematisch volgen en zo nodig bijsturen, en dat zij aan het eind de samenwerking en de opbrengsten evalueren.

De tweede conditie kan gerealiseerd worden wanneer het *ontwerp* van het door de schoolleider te leiden vormings-onderzoek onder leraren in de school, een product is waar beide partijen aan samenwerken en beiden verantwoordelijk voor zijn.

De derde conditie kan bijvoorbeeld gerealiseerd worden wanneer opleiders assisteren bij de uitvoering van vormings-onderzoek op de school (door schoolleiders of door leraren). De opleiders doen zodoende ervaring op die voor de opleiding belangrijk is³³ (zie ook de conclusie op pagina 690).

³³ Zoals in deel I al betoogd werd (hoofdstuk 2, § 3.c / *Het (ped)agogisch leiderschap van opleiders van schoolleiders*).

De vierde conditie betekent dat opleiders en schoolleiders over en weer in elkaars sfeer komen, en daar een bijdrage geven. In aanvulling op wat hiervoor al genoemd is kunnen het meedenken door schoolleiders over opleidingsbeleid, en het meedenken door opleiders over schoolontwikkeling, structureel georganiseerd worden.

De vijfde conditie is een zinvolle algemene richtlijn, die niet een kwestie is van organisatie maar van een constructieve opstelling ten aanzien van tegenstellingen, spanningen en conflicten.

In de praktijk zal ongetwijfeld blijken dat er nog andere condities (kunnen) zijn dan de hier genoemde, die ofwel verhinderen dat de bovenstaande condities gerealiseerd worden, of om andere redenen verhinderen dat de schoolleiding erin slaagt om ondersteuning van vorming en vormingsonderzoek in de school te doen opbloeien. Om een beter beeld te krijgen van alle condities zou het van groot belang zijn wanneer enkele scholen erin slagen om op dit gebied voorbeelden van 'good practice' te realiseren. De (soms lange) wegen naar dit doel zouden daardoor ook duidelijker worden. Daarnaast is het goed om zich te realiseren dat onderwijs, zolang als het bestaat, bijna altijd wel kansen op vorming heeft geboden, al was het vaak in de marges van het systeem. Hopelijk draagt deze studie bij aan groeiend inzicht in de kansen op vorming die onderwijs kan bieden, en aan de inspanningen om die kansen stap voor stap te verbeteren.

Een zeer belangrijke aanvullende conditie voor het ontwikkelen van pedagogisch leiderschap door schoolleiders is echter, zoals al eerder genoemd³⁴, de aanvulling door pedagogisch leiderschap van leraren, die gemotiveerd en bekwaamd zijn om het vormingspotentieel van schoolvakken ten volle te benutten. De vervulling van deze laatste conditie ligt voor een belangrijk deel op het bord van initiële en post-initiële opleidingen voor leraren. Daarom zullen in de volgende paragraaf suggesties voor deze opleidingen geformuleerd worden.

2 LERARENOPLEIDING

Om het belang van pedagogisch leiderschap van leraren exacte vakken te illustreren zal ik nu de lijst van wenselijke identiteitskenmerken van schoolleiders³⁵ via kleine aanpassingen herformuleren voor leraren exacte vakken. Zodoende wordt duidelijk hoezeer het pedagogisch leiderschap van schoolleiders en van leraren met elkaar verwant zijn, en elkaar kunnen aanvullen.

³⁴ Zie de slotopmerkingen aan het einde van de conclusies van zowel deel II als deel III.

³⁵ Zie deel III, hoofdstuk 17, § 4.

2.a Identiteitskenmerken van leraren exacte vakken

Als identiteitskenmerken, die eraan bij kunnen dragen dat een leraar exacte vakken goed (en beter) functioneert als pedagogisch leider, kunnen genoemd worden:

Dat de leraar

1. intrinsiek gemotiveerd en in staat is om authenticiteit te tonen en in zijn onderwijs ontmoetingen te organiseren, omdat hij beseft dat dit algemene aspecten van ondersteuning zijn;
2. intrinsiek gemotiveerd is om de vorming van jonge mensen te ondersteunen;
3. ook alert is op de valkuil van projectie, en met belangstelling openstaat voor de andere creatieve vormgevingen aan ondersteuning, die andere leraren ontwikkelen;
4. zich goed kan voorstellen,
 - + dát exacte vakken voor mensen, en dus ook voor leerlingen, positief- en negatief inspirerende ervaringen kunnen opleveren, en ook goed weet
 - + welke ervaringen dat zijn, en welk vormgeverschap het onderwijs in de exacte vakken bij leerlingen in principe kan stimuleren;
5. een gefundeerd beeld heeft van de sterke kanten, beperkingen, verleidingen en risico's van de 'wiskundige bril' en van de 'fysische bril';
6. intrinsiek gemotiveerd en in staat is om zijn voorstellings-arsenaal van de ondersteuning van vorming in het onderwijs van exacte vakken uit te breiden door gebruik te maken van zoveel mogelijk bronnen van verschillende soort;
7. intrinsiek gemotiveerd en in staat is om binnen een vaksectie exacte vakken, en binnen een vakoverstijgend kernteam, procesmatig bij te dragen aan de kwaliteit van teambezinning op:
 - + eerste mogelijkheden voor ondersteuning van vorming van leerlingen,
 - + verbetering van ondersteuning,
 - + vernieuwing van ondersteuning,
 - + zingevende kwaliteit van ondersteuning;
8. intrinsiek gemotiveerd en in staat is
 - + om verschillende soorten van zingevende ervaringen (zoals: zingend spelen en genieten, zingevende verantwoordelijkheid en zingevende dankbaarheid), en daarmee corresponderende dimensies van vorming, bij zichzelf en bij anderen te herkennen, en
 - + om zich een beeld te vormen van de onderlinge relaties tussen deze ervaringen en dimensies (bij zichzelf en bij anderen), en
 - + om bewust met deze ervaringen en dimensies om te leren gaan, met name in verband met het verwerven van toepassingsneutrale kennis in exacte vakken en verantwoordelijkheid voor het gebruik daarvan;
9. intrinsiek gemotiveerd en in staat is om bij teamgesprekken inhoudelijk aan kwaliteit bij te dragen, door eraan mee te werken dat een gemeenschappelijke taal gebruikt wordt, die het mogelijk maakt om te onderscheiden tussen verschillende

- soorten van zingevende (c.q. inspirerende) ervaringen en tussen verschillende dimensies van vorming; met het doel dat deze taal het mogelijk maakt om de verschillende gedaanten van vorming en van ondersteuning beter te herkennen, te ordenen, en met elkaar in verband te brengen; en met het doel dat de leraren van verschillende vakken ook in hun gesprekken met leerlingen over vorming (een variant van) deze taal hanteren;
10. intrinsiek gemotiveerd is om binnen teams mee te denken over verbeteringen van voorwaarden en voorzieningen, die het realiseren van plannen en suggesties van het team kunnen ondersteunen;
 11. beseft dat passend onderzoek een belangrijke bijdrage kan geven aan verbetering van de ondersteuning van vorming;
 12. daarbij ook beseft dat de concentratie op vorming een onderzoeksbenadering vereist waarbij:
 - + de onderzoekers zich verenigen in een team, waarvan de leden gemotiveerd en in staat zijn om binnen het 'onderzoeks-spel' alle andere doelen en belangen, buiten de vorming van leerlingen, buiten beschouwing te laten om zich zodoende op de ontwikkeling van één vorm van doelgerelateerde kennis te concentreren;
 - + de onderzoekers in staat zijn om, ter wille van het onderzoek naar vorming van leerlingen, hun ondersteuning te transformeren naar vormen van kanalisering die methodisch onderzoek naar vorming mogelijk maken, dan wel zich te realiseren dat onderzoeksmatige kanalisering ondersteunend moet zijn voor de modi van vorming waar hun belangstelling naar uitgaat;
 - + de onderzoekers zich toeleggen op het methodisch-systematisch over en weer verbeteren van gesitueerde kennis en generieke kennis, onder erkenning van de gelijkwaardigheid van deze twee kennis-categorieën;
 - + de onderzoekers gemotiveerd en in staat zijn om hun onderzoek op transparante wijze te rapporteren en te verantwoorden, zowel onderling binnen een schoolgebonden onderzoeksteam, als uiteindelijk in een wereldwijde vormingsonderzoeks-gemeenschap;
 - en daarom gemotiveerd en in staat is om als mede-onderzoeker aan dergelijk onderzoek deel te nemen.
 13. zich realiseert dat ook de schoolcultuur als geheel een rol speelt in het ondersteunen van vorming, en daarom kritisch meedenkt over schoolcultuur en schoolbeleid;
 14. doordrongen is van het belang van integratie van alle teambijdragen tot een vormingsbeleid van de school als geheel;
 15. intrinsiek gemotiveerd is om tegenwicht te bieden tegen verkokering en eilandvorming tussen schoolvakken, en daarom gemotiveerd en in staat is om in de school met collega's samen te werken aan brede vorming ('Bildung');
 16. intrinsiek gemotiveerd en in staat is om kritisch mee te denken over de ontwikkeling van de omringende 'schoolorganisatie', vooral met betrekking tot het gebruik van vruchten van de wiskundige discipline daarbinnen;

17. intrinsiek gemotiveerd en in staat is om in het schoolteam te participeren aan visie-ontwikkeling op verbetering en vernieuwing van vorming-ondersteunende kwaliteit voor leerlingen, die voor de cultuurbijdrage van exacte vakken een zingevend kader schept, en waarmee de schoolgemeenschap laat zien dat ook zij niet alleen schepsel maar ook schepper is van cultuur;
18. intrinsiek gemotiveerd is om zodanig richting te geven aan zijn eigen vorming, dat hij de bepaling van zijn eigen zone van naaste ontwikkeling afstemt op zones van naaste ontwikkeling van leerlingen, van de teams waartoe hij behoort, en van de school als geheel.

Wanneer dergelijke identiteitskenmerken in belangrijke mate bijdragen aan het pedagogisch leiderschap van leraren, dan zullen lerarenopleiders voor wie vorming in onderwijs belangrijk is zich de vraag stellen, hoe een opleiding kan bijdragen aan de ontwikkeling daarvan. Zoals voor schoolleiders, geldt ook voor (aspirant-)leraren dat zij zelf vorm en inhoud moeten geven aan hun identiteitskenmerken, en ook voor hen volgt daaruit de consequentie dat zij zelf, via eigen filosoferen, de formulering van voor hen zelf wenselijke identiteitskenmerken 'opnieuw moeten uitvinden'. Om deze redenen werd in de vorige paragraaf de oorspronkelijke vraagstelling voor het huidige deel verbeterd (pagina 691). Toegepast op het opleiden van leraren kan deze verbeterde vraagstelling als volgt geformuleerd worden:

Hoe kan men zich voorstellen dat het functioneren van een (aspirant-)leraar als deelnemer van een opleiding eraan bijdraagt, dat deze zelf zulke identiteitskenmerken formuleert, en zich ten doel stelt, zoals in deze studie in antwoord op de eerste vraag gevonden zijn?

Als eerste reactie op deze vraagstelling moet herinnerd worden aan de constatering dat de 18 wenselijke identiteitskenmerken (met hun achtergronden), en de voorstelling van vormings-onderzoek, de belangrijkste resultaten zijn die het verkennende onderzoek van de delen II en III heeft opgeleverd (pagina 673). Het antwoord op de verbeterde vraagstelling zal daarom voortbouwend op deze resultaten, en naar analogie van de vorige paragraaf worden uitgewerkt. Als eerste volgt nu een voorstelling van geschakeld vormings-onderzoek in het kader van een lerarenopleiding. Daarna volgen, zoals in de vorige paragraaf, 'overige voorstellingen' en 'aanvullende condities'.

2.b Voorstelling van geschakeld onderzoek

Speelruimte binnen opleidingskader

Naar analogie van de schoolleidersopleiding, kan ook de voorbereiding van vormings-onderzoek binnen een lerarenopleiding beginnen met de afbakening van een opleidingskader. Opnieuw met het tweeledige doel om de speelruimte af te bakenen waarbinnen het vormings-onderzoek zich relatief autonoom kan ontplooiën, en om een omgeving te

creëren waarbinnen het vormingsonderzoek levensvatbaar kan zijn. Een dergelijk opleidingskader zou de volgende elementen kunnen bevatten:

- Een visie op het belang van 'vorming' binnen onderwijs. Biesta's formulering van de drie 'doeldomeinen' van onderwijs, of een variant daarvan, kan bijvoorbeeld ook een lerarenopleiding inspireren tot het ontwikkelen van een omvattende visie op leraarschap, en op het opleiden daartoe³⁶.
- Een element dat iedere lerarenopleiding ook nodig heeft is een visie op alle taken en verantwoordelijkheden die tot het leraarsberoep behoren, en op de daarmee corresponderende competenties. De onderzoekscompetenties, en in het bijzonder de competentie tot vormingsonderzoek, moet als deelgebied daarbinnen bepaald worden.
- Een derde element kan een visie zijn op de culturele discipline(s) waarin de (aankomende) leraren de leerlingen zullen inleiden. Niet alleen een visie op het *nut* van die disciplines, maar ook op de intrinsieke waarden die zij (kunnen) vertegenwoordigen³⁷ (of kunnen verdringen). Niet alleen een visie op het gevormd *worden* door die discipline, maar ook op de ontwikkeling van het eigen vormgevend vermogen waar die discipline een beroep op kan doen. En tenslotte ook een visie op de geschiedenis waardoor die discipline zich met vallen en opstaan ontwikkeld heeft tot haar huidige vorm, waarin zij gesteld is voor de uitdagingen van heden en toekomst.
- Et cetera.

Selectie en basisafspraken

Zoals eerder beschreven (pagina 675) creëren de hiervoor geschetste beginvoorwaarden een 'speelveld' waarbinnen een onderzoeksteam kan opereren. Opnieuw is het essentieel dat er teamleden geselecteerd worden die gemotiveerd zijn om hun 'onderzoeksblik' scherp te stellen op het belang van vorming, en om binnen het kader van het onderzoek alle andere belangen, waarden of doelen 'tussen haken te zetten'.

De kanalisering die het onderzoeksteam nodig heeft om haar focus te bepalen en vol te houden kan tot uitdrukking komen in een aantal basisafspraken (naar analogie van de op pagina 675 genoemde basisafspraken), zoals bijvoorbeeld:

1. Uitgangspunten. Men kan afspreken om voor het onderzoek uit te gaan van volgende aannames:
 - a. Iedere leerling (ieder mens) kan beschouwd worden als een zich ontwikkelende bron van vormgeving, ofwel als een zich ontwikkelende vormgever (een ZOV).
 - b. Een belangrijke (zingevende) inspiratiebron voor de ontwikkeling van het eigen vormgevend vermogen, is het ondersteunen van de ontwikkeling van het vormgevend vermogen van *anderen*.

³⁶ Zoals mijn studie daar ook bij aansluit, zie deel I (hoofdstuk 1, § 3).

³⁷ Een voorbeeld van een dergelijke visie op wiskunde-onderwijs biedt het blog *Waarom Wiskunde?* van Wouter van Joolingen (2014).

2. Onderzoeks-externe doelen. Men kan afspreken dat het onderzoek in dienst staat van:
 - a. Het bijdragen aan verbetering van de ondersteuning van de vorming van (aspirant-)leraren exacte vakken tot en als pedagogische leiders.
 - b. Het bijdragen (onder andere via 'dubbele bodem werking') aan verbetering van ondersteuning van de vorming van leerlingen door leraren exacte vakken.
3. Onderzoeks-interne doelen. Men kan afspreken dat het onderzoek gericht is op het verkrijgen van de volgende kennis-opbrengsten:
 - a. Heldere en gedetailleerde beelden van de ontwikkeling van iedere deelnemende (aspirant-)leraar tot en als pedagogisch leider.
 - b. Heldere en gedetailleerde beelden van kanaliseringen (werkwijzen en hulpmiddelen: interventies, werk- en spelvormen, interfaces) die situationeel helpen om uitingen van vormgevend vermogen van deelnemende (aspirant-)leraren te ontlokken, te ordenen, te vergelijken, te analyseren, te beoordelen, in verband te brengen met ..., et cetera.
 - c. Generieke inzichten en suggesties die opleiders (en deelnemers, via de dubbele bodem) uitnodigen om (beter) situationeel maatwerk van kanaliseringen (en eliciteren) te maken.

Op zodanige wijze dat a, b en c over en weer aan elkaars verbetering bijdragen.

Taalspelverwerving en zelfonderzoek

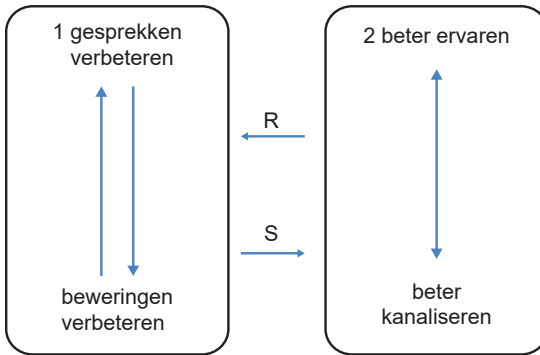
Zo goed als het voor het onderzoeksteam van een schoolleidersopleiding zinvol was, om zich het taalspel van vormingsonderzoek tot gedeeld eigendom te maken door onderlinge oefening (pagina 676-680), zo goed is dit ook zinvol voor een startend onderzoeksteam van een lerarenopleiding. Daarom zal ik hier in verkorte vorm opnieuw een schets geven van dit onderling oefenen, zoals dit zich binnen een lerarenopleiding zou kunnen afspelen.

- Ook dit team kan beginnen met het uitwisselen (eliciteren) van elkaars biografieën als ZOV-ers. Daarbij kunnen de teamleden experimenteren met verschillende elicitation- en kanaliseringvormen. Daarbij kunnen zij zich ook oefenen in alertheid op de interactie die ontstaat, vanuit de vraag wanneer de kanalisering vastgehouden wordt of verloren gaat, welke mogelijkheden tot bijsturing er zijn, et cetera.
- De drie dimensies van vorming (die in deze studie geïntroduceerd zijn) kunnen ook in dit team geïntroduceerd worden. Op grond daarvan kunnen de teamleden vervolgens bespreken in hoeverre zij deze dimensies herkennen in elementen van de uitgewisselde biografieën, aan welke kenmerken die dimensies herkenbaar zijn, welke samenhangen duidelijk worden, welke nieuwe vragen dit oproept, et cetera.
- Vervolgens kan het gesprek zich concentreren op de vraag in hoeverre deze drie dimensies ook te herkennen zijn in ieders persoonlijke ontwikkeling binnen de exacte disciplines waarin de teamleden nu lerarenopleider zijn (inclusief in de negatieve zin van blokkades vanuit exacte cultuur die aspecten van vorming verhinderen), en wat de opbrengst van deze reflectie betekent.

- Daarna kan één van de teamleden (of een externe) geschiedenissen introduceren die illustreren hoe deze drie dimensies van vorming van het begin af aan een rol hebben gespeeld in de levens van exacte onderzoekers, en in de ontwikkeling van deze disciplines in het algemeen (inclusief in negatieve zin). Deze geschiedenissen kunnen door teamleden aangevuld worden, en vergeleken worden met ieders persoonlijke ervaringen.
- Vervolgens kan het gesprek ingaan op de vraag, in hoeverre ieder teamlid al dan niet vormende ervaringen heeft opgedaan in zijn onderwijsloopbaan, of er ruimte en aandacht was voor 'vorming', of de 'vorming' al dan niet betrekking had op het 'vak' of alleen op zaken daarbuiten, welke dimensies van vorming aan de orde kwamen, welke leraren ondersteunend waren of juist ontmoedigend, of er alleen sprake kon zijn van vorming 'tegen de verdrukking in', et cetera. Uiteraard weer gevolgd door reflectie op het gesprek.
- Tenslotte kan het gesprek ingaan op de vraag, in hoeverre teamleden ervaringen hebben opgedaan met het ondersteunen van *anderen* in hun vorming, in of buiten het onderwijs, in hoeverre deze ervaringen ook voor henzelf inspirerend, zingevend en vormend waren, en in hoeverre die ervaringen verband hielden met inwijding in een exact schoolvak. Daarbij kunnen uiteraard de bovengenoemde onderscheidingen, zoals tussen positief en negatief inspirerende ervaringen, en tussen de drie dimensies van vorming opnieuw getoetst worden op hun waarde voor ordenen, vergelijken en ontdekken van samenhangen. Uiteraard weer gevolgd door reflectie op het gesprek.

In terugblik op de hierboven geschetste stappen in het toetsen van concepten aan ervaringen en aan geschiedenissen, kan herkend worden dat het eliciteren, kanaliseren, ordenen en vergelijken van ervaringen en geschiedenissen steeds een fase was met het karakter van vak 2, en dat zowel de voorbereidingen die ertoe dienden om een volgend aspect van die ervaringen of geschiedenissen aan het licht te brengen als de reflecties op de vraag hoe één en ander toepasbaar is bij onderzoek onder studenten of leraren, een fase was met het karakter van vak 1. In dit geval verwijst de 'R' in figuur 1 zowel naar 'rapportage' als naar 'reflectie'.

Figuur 7



Het is ook de bedoeling dat de teamleden zich bij dit alles al doende het *taalspel* eigen maken waarin 'het ondersteunen van vorming' vervangen wordt door 'het eliciteren en kanaliseren van het vormgevend vermogen van een ZOV'. Het taalspel, waarbij steeds een specifieke 'bril' wordt ontworpen of bijgesteld (in de vorm van termen, werkvormen, beoogde interactie, interventies) die bepaalde aspecten van het vormgevend vermogen van ZOV-ers aan het licht moeten brengen. Het taalspel, waarbij vak 2 staat voor de fase waarin een specifieke 'bril' wordt toegepast, en vak 1 voor de fase van rapportage van en reflectie over de opbrengst van die toepassing, en van het weloverwogen vormgeven aan een nieuwe of aan een verbeterde 'bril'.

Bij deze oefeningen zullen de teamleden merken³⁸ dat het verrijken van de taal waarin zij ervaringen met en rond vorming kunnen beschrijven, ook die ervaringen zelf verrijkt, zoals bedoeld wordt met het 'beter ervaren' in vak 2 van figuur 7. Wanneer de oefening goed functioneert dan zullen de teamleden zich hun vormingservaringen scherper herinneren, en daarom ook beter gemotiveerd en in staat zijn om 'werk van hun eigen vorming' te maken, wat een belangrijke voorwaarde is om studenten of leraren in hun vorming te kunnen ondersteunen. Bovendien zal deze oefening de motivatie van de opleiders versterken om de vorming van studenten of leraren te ondersteunen (in de vorm van eliciteren en kanaliseren) wanneer zij zich beter herinneren hoe anderen hen in hun vorming ondersteund hebben, en zij hun dankbaarheid daarvoor bewuster ervaren. Tenslotte zal deze motivatie versterkt worden wanneer zij zich beter herinneren welke voldoening het geeft om een ander zich te zien ontwikkelen als creatieve vormgever, en om een ander daarin te ondersteunen.

Vorbereidend onderzoek bij deelnemers

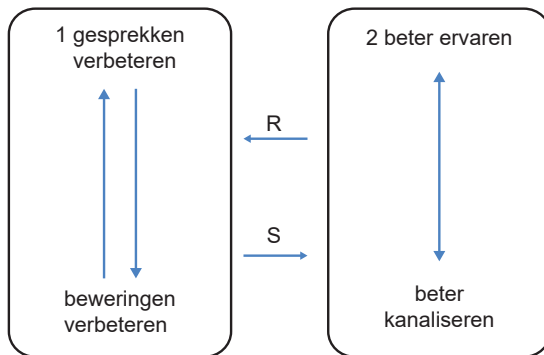
Wanneer het onderzoeksteam van opleiders zich voldoende heeft voorbereid, kunnen zij in het kader van de opleiding vormings-onderzoek uitvoeren bij de deelnemende stu-

³⁸ Zoals ook de opleiders van schoolleiders konden merken (pagina 680 e.v.).

denten of leraren. Daarbij stel ik mij voor dat zij ook bij hun deelnemers beginnen met een voorbereidend vormings-onderzoek. De doelen die zij zich daarbij stellen zullen, mutatis mutandis, geheel overeenkomstig zijn met de doelen die op pagina 680 geformuleerd werden voor een eerste vormingsonderzoek onder schoolleiders.

Dit voorbereidend onderzoek kan globaal vormgegeven worden volgens het stramien dat de opleiders eerder zelf gevolgd hebben bij hun zelfonderzoek-oefening. Met het verschil dat de opleiders nu, als onderzoekers, eerstverantwoordelijk zijn voor het eliciteren en kanaliseren van het werken door de (aankomende) leraren aan en rond hun biografieën als ZOV-ers in vak 2. In deze sfeer kunnen ook werkcolleges passen over uitdagingen, spanningen en dilemma's waar historische figuren uit de geschiedenis van de exacte disciplines als vormgevers mee om moesten leren gaan, evenals werkcolleges 'filosoferen over wiskunde, kunstmatige intelligentie, of natuurkunde'. Het verwerven en verwerken van nieuwe informatie in deze werkcolleges kan gebruikt worden als voorbereiding om vormgeverschap op nieuwe manieren te kunnen kanaliseren.

Figuur 8



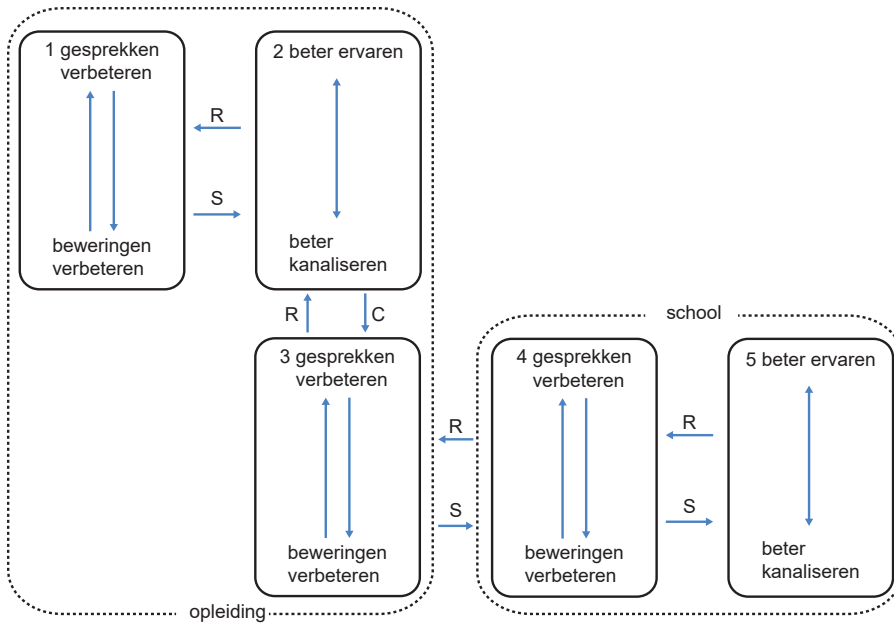
Vak 1 is nu het domein van het onderzoeksteam van opleiders, waarin gerapporteerd wordt over de opbrengsten van het onderzoekswerk in vak 2, over de gebruikte eliciteratie- en kanaliseringmethoden, over de ervaringen met de kanaliserende interactie die ontstond, et cetera. Tevens behoort tot dit domein dat de rapportages kritisch geanalyseerd en geëvalueerd worden. Deze gesprekken dragen bij aan verbeterd inzicht, en leiden tot suggesties voor de volgende stap in het onderzoek, en voor latere herhalingen van ditzelfde onderzoek. Het lijkt mij van belang dat de opgeleide studenten of leraren ook deelnemen aan een deel van de gesprekken die tot het domein van vak 1 behoren. Zij kunnen immers ook veel profijt hebben van de rapportages en van gesprekken daarover, omdat zij zelf in een latere fase vergelijkbaar onderzoek kunnen ondernemen onder hun leerlingen. In de gesprekken waar de (aankomende) leraren aan deelnemen zullen daarom de mogelijkheden, complicaties, en randvoorwaarden van dergelijk vormings-onderzoek in de eigen lessen centraal staan. Deze gesprekken vormen in feite een belangrijk onderdeel van de opleiding tot vorming-onderzoekers. Het is immers de

bedoeling dat de (aankomende) leraren zelf mogelijkheden gaan zien om dergelijk onderzoek in de eigen lessen te ondernemen, en (mede) aangeven hoe de opleiding hen kan ondersteunen om het vertrouwen te bereiken dat zij deze stap kunnen wagen.

Geschakeld onderzoek in de les

Wanneer de aankomende of nageschoolde leraren deze stap willen wagen, is het van belang dat zij bij hun eerste experimenten vanuit de opleiding ondersteund en begeleid worden. Dit is trouwens ook voor de opleiding en de opleiders van belang omdat zij zodoende kostbare ervaringen in de schoolpraktijk opdoen, die ten goede komt aan de opleiding. Daarom stel ik mij voor dat deze eerste experimenten met vormings-onderzoek aan de opleiding geschakeld zijn, zoals dit in de vorige paragraaf ook bij de schoolleiders-opleiding het geval was. In figuur 9 is een schematisch ontwerp voor die schakeling afgebeeld.

Figuur 9



Toelichting:

- Vak 5 stelt de sfeer voor waarin een stagiair of leraar, onder begeleiding van de opleiding, een experiment met vormings-onderzoek uitvoert in het kader van het onderwijs in een exact vak.
- Vak 4 stelt dan een lerarenteam in de school voor waar deze stagiair of leraar toe behoort. Dat kan een kernteam zijn of een vaksectie. Idealiter functioneert dit team ook al als onderzoeksteam. De stagiair of leraar die het onderzoek uitvoert rapporteert (pijl R) in eerste instantie aan dit team. In dit team worden zijn ervaringen en

- zijn elicitering- en kanalisering-methoden besproken. De opleidingsbegeleider neemt ook deel aan deze besprekingen, die suggesties opleveren (pijl S) waar de stagiair of leraar verder mee aan de slag kan gaan.
- Vak 3 stelt een onderzoeks-intervisiegroep binnen de opleiding voor waar de betrokken stagiair of leraar aan deelneemt, samen met andere opleiding-deelnemers die ervaringen met vormings-onderzoek op andere scholen inbrengen. De opleiding-deelnemers rapporteren (pijl R) over hun ervaringen en de gesprekken in vak 4 aan deze onderzoeks-intervisiegroep (samen met hun begeleider). Omdat hier ervaringen van verschillende scholen bij elkaar komen, kunnen in deze groep conclusies en hypothesen geformuleerd worden op een hoger niveau van generalisering dan binnen de school. Dit kan leiden tot suggesties op een hoger niveau van generalisering (pijl S), die naar de scholen teruggespeeld worden.
 - Vak 2 staat voor workshops binnen de opleiding waarin de vorming in pedagogisch leiderschap voorwerp van onderzoek is. De eigen vorming van de leraren-in-opleiding staat daar weer centraal. De opleiders eliciteren en kanaliseren aspecten van de voortgaande ontwikkeling van deze (aankomende) leraren als pedagogische leiders. Dit alles uiteindelijk ter wille van de kansen op vorming die middels het onderwijs van deze leraren aan leerlingen geboden worden.
 - Vak 1 staat voor de gesprekken waarin de lerarenopleiders hun vormings-onderzoek onder deelnemers begeleiden met analyse en reflectie, zowel uit pure belangstelling voor de vorming van hun deelnemers, alsook om hun zorg voor de kwaliteit van die vorming te blijven borgen en verbeteren.

2.c Overige voorstellingen

De vraagstelling voor deze paragraaf luidde (pagina 698):

Hoe kan men zich voorstellen dat het functioneren van een (aspirant-)leraar als deelnemer van een opleiding eraan bijdraagt, dat deze zelf zulke identiteitskenmerken formuleert, en zich ten doel stelt, zoals in deze studie in antwoord op de eerste vraag gevonden zijn?

Aan een antwoord op deze vraag ben ik nog niet toegekomen. Hierboven werd alleen een globaal ontwerp uitgewerkt van een traject, waarin studenten van een initiële lerarenopleiding, of deelnemers aan een leraren-nascholing, opgeleid worden tot eerste oefeningen met vormings-onderzoek in de praktijk van hun onderwijs. In dat traject maken zij eerst kennis met vormingsonderzoek waarbij zijzelf als ZOV-ers (in verband met exacte disciplines) meewerkend voorwerp van onderzoek zijn, om vervolgens de stap te kunnen zetten naar eigen uitvoering van dergelijk onderzoek (onder begeleiding), met hun leerlingen als ZOV-ers als meewerkende voorwerpen van onderzoek.

Om mij voor te stellen hoe een dergelijk traject kan resulteren in het formuleren en zich ten doel stellen van identiteitskenmerken moet ik eerst, zoals in het geval van het

opleiden van schoolleiders, de voorstelling van het leren filosoferen over vorming in onderwijs verder uitwerken.

Filosoferen over vorming in onderwijs

In de beschrijving van het voorbereidende onderzoek bij deelnemers (pagina 702-704) werden werkcolleges 'filosoferen over wiskunde, kunstmatige intelligentie, of natuurkunde' al opgenomen. Dergelijke werkcolleges zijn nodig om de deelnemers zich taal, concepten en kennis te doen toe-eigenen, die als 'brillen' gebruikt kunnen worden om op verschillende manieren de ontwikkeling en de culturele bijdrage van exacte disciplines te kunnen beschouwen, en ook om op nieuwe manieren naar de eigen vorming in die vakken te kijken, en om op nieuwe manieren na te denken over de kansen op vorming die het onderwijs in exacte vakken te bieden kan hebben.

Dergelijke werkcolleges, en de ervaringen met het reflecteren over de eigen vorming op de wijze van vormingsonderzoek, kunnen bijvoorbeeld bij een deelnemer tot de ontdekking leiden dat ook voor hemzelf 'creatieve intuïtie' één van de meest inspirerende aspecten is van exacte disciplines. En bovendien, dat het jammer is dat leerlingen in het onderwijs op school nauwelijks de kans krijgen om bewust ervaringen met die intuïtie op te doen. Deze ontdekking kan ertoe leiden dat hij intrinsiek gemotiveerd is om (ondersteund door begeleiders) opdrachten en lessen te bedenken, waarmee hij kan eliceren en kanaliseren dat leerlingen hun intuïtie te gebruiken om oplossingen te vinden voor opgaven waarvoor zij geen recept voorhanden hebben. Vervolgens doet hij ervaring op met het uitvoeren van die plannen (figuur 9, vak 5). Zijn ervaringen met zijn eerste pogingen om op deze gerichte wijze de vorming van leerlingen te ondersteunen worden ingebracht in een collegiaal lerarenteam (vak 4). De reflecties in dat team leiden -als het goed is- tot verruiming van perspectieven op zijn ervaringen, en tot inzichten in en suggesties voor mogelijkheden tot verbetering en nieuwe mogelijkheden. Die verruiming van perspectieven op en inzichten in mogelijkheden, kunnen nog verder toenemen of aangescherpt worden wanneer hij zijn ervaringen ook in de opleiding inbrengt in een onderzoeks-intervisie-setting (vak 3). Door al die reflecties zal de eerste poging tot vormingsonderzoek gaan werken als een spiegel waarin de betrokken stagiaire/leraar niet alleen bekwaamheden herkent waarin hij al sterk staat, maar ook geconfronteerd wordt met tekortkomingen. Wanneer nu in de opleiding geconcentreerde aandacht gewijd wordt aan zijn eigen vorming (vak 2), dan kunnen opleiders eliceren en kanaliseren dat hij zelf de identiteitskenmerken formuleert waarop hij met voorrang zijn vorming in pedagogisch leiderschap wil richten.

Doorwerking naar overige opleidingsaspecten

Wanneer zodoende vorming en pedagogisch leiderschap stevig op de kaart van een leraaropleiding gezet zijn, dan zal dit doorwerken naar de overige opleidingsaspecten. Ook voor een leraar (evenals voor een schoolleider) is vormgeverschap immers verbonden met alle aspecten van zijn leraarschap (c.q. leiderschap). En ook voor een leraar is zijn

pedagogisch leiderschap nauw verbonden met de authenticiteit van zijn vormgeving aan de integratie van de verschillende aspecten van zijn leraarschap³⁹.

Daarom zal blijken dat 'vorming' of 'pedagogisch leiderschap', ook in een lerarenopleiding, relevante aandachtspunten zijn bij meerdere opleidingsaspecten die daar niet direct of expliciet op gericht zijn. Deze aandacht zal weer in het voordeel werken van de specifiek ondernomen activiteiten zoals filosoferen over vorming en vormingsonderzoek, omdat deze specifieke activiteiten verkommeren wanneer zij in het geheel van de opleiding een 'vreemd lichaam' blijven, en juist zullen opbloeien wanneer het omgekeerde het geval is⁴⁰.

Dit doorwerken zal bovendien ook in een lerarenopleiding⁴¹ bevorderen dat er naast vormingsonderzoek niet-onderzoeksmatige vormen van ondersteuning van vorming opkomen. Ook voor een lerarenopleiding lijkt mij dit een waardevol resultaat.

2.d Aanvullende condities

Voor het ontwikkelen van pedagogisch leiderschap door schoolleiders werd de aanvulling door het pedagogisch leiderschap van leraren als belangrijkste aanvullende conditie genoemd (pagina 695). Maar in omgekeerde zin is het pedagogisch leiderschap van schoolleiders een onmisbare aanvulling en randvoorwaarde voor de vruchtbaarheid en de bloei van pedagogisch leiderschap van leraren. Wanneer het besef van de waarde van het vakinhoudelijke vormingspotentieel niet gedeeld kan worden met de schoolleiding, en het benutten daarvan niet ondersteund wordt vanuit schoolleiding en schoolbeleid, dan blijft het bieden van belangrijke kansen op vorming op zijn best een hobby van enkele geïsoleerde leraren. Daarom is in omgekeerde zin de bijdrage van schoolleidersopleidingen essentieel als aanvulling op de bijdrage van lerarenopleidingen.

In figuur 10 is afgebeeld hoe een schoolleiders-opleiding en een lerarenopleiding beiden, via vormingsonderzoek, aan de school geschakeld kunnen zijn⁴². Afhankelijk van situaties en ontwikkelingen kunnen de schakelingen met een schoolleiders-opleiding en met een lerarenopleiding tegelijk of opeenvolgend in de tijd functioneren. Om elkaar op vormingsgebied goed aan te vullen is het uiteraard van belang dat beide soorten opleiding dezelfde taalspelen hanteren met betrekking tot vorming en vormingsonderzoek. Dit impliceert dat het op elkaar afstemmen van lerarenopleidingen en schoolleidersopleidingen⁴³, een belangrijke conditie is voor het slagen van onderlinge aanvulling in bijdragen aan schoolontwikkeling.

³⁹ Zoals reeds betoogd in deel I, hoofdstuk 2, § 3.c / *Het pedagogisch leiderschap van leraren*.

⁴⁰ Deel III, hoofdstuk 17, § 3.c / *2. Kanaliseren en toetsen / Bij vormingsonderzoek*.

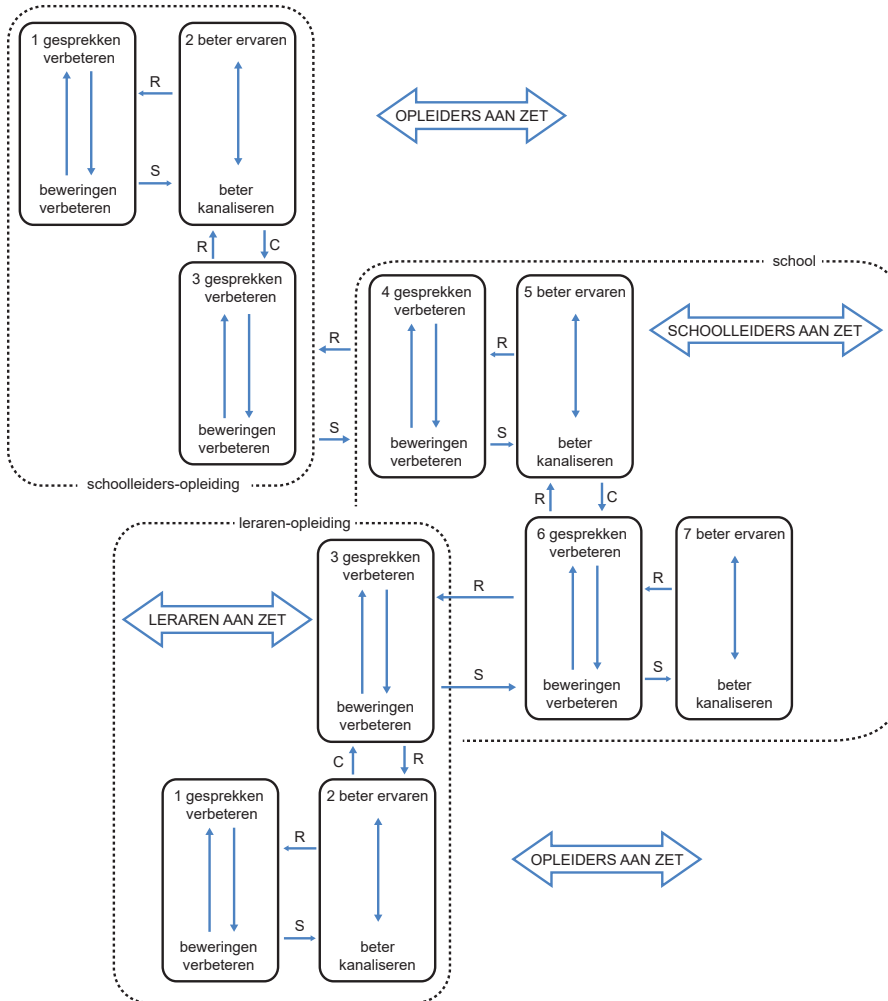
⁴¹ Zoals voor een schoolleidersopleiding, zie pagina 693.

⁴² Figuur 10 is niet meer dan een combinatie van de figuren 4 en 9.

⁴³ Welke afstemming makkelijker te realiseren is wanneer leraren- en schoolleidersopleidingen organisatorisch onder één dak zijn samengebracht.

Voor de andere condities, die van belang zijn om te bewerkstelligen dat een lerarenopleiding effectief bijdraagt aan de vorming-ondersteunende kwaliteit van een school kan ik verwijzen naar de condities die eerder in dit hoofdstuk genoemd werden in § 1.d (pagina 693-695). Deze condities waren immers al ontleend aan onderzoek naar de effectiviteit voor schoolontwikkeling van scholing en leerprocessen van leraren.

Figuur 10



HOOFDSTUK 19

Resultaten, discussie, suggesties

In dit hoofdstuk wordt het onderzoek afgerond.

In de eerste paragraaf wordt een overzicht gegeven van de resultaten van het verkennende en ontwerpgerichte onderzoek, dat in de delen II en III, en in hoofdstuk 18 van deel IV beschreven is.

In de tweede paragraaf volgt zowel een kritische discussie van resultaten in het licht van uitgangspunten, als van uitgangspunten in het licht van resultaten.

Daarna worden in de derde paragraaf suggesties voor een vervolgtraject en voor vervolgonderzoek gepresenteerd.

Tenslotte eindigt dit hoofdstuk met een nawoord, dat geïnspireerd is op het einde van het gedicht, waarvan het begin geciteerd werd op het voorblad van hoofdstuk 1.

1 OVERZICHT VAN RESULTATEN

In deze paragraaf wordt een overzicht gegeven van de resultaten van het verkennende onderzoek, dat in de delen II, III en in hoofdstuk 18 beschreven is. Deze resultaten worden eerst gepresenteerd als antwoorden op de vraagstellingen die specifiek voor deze onderdelen golden, en tenslotte als antwoorden op het in deel I geformuleerde schakelprobleem, op de globale vraagstelling, en op de doelstelling van het onderzoek.

1.a Deel II: Wiskunde en Vorming

In het volgende gedeelte worden de resultaten van deel II samengevat, in de vorm van antwoorden op de richtvragen die in de inleiding van deel II geformuleerd werden. De hier weergegeven antwoorden zijn in veel gevallen ingekorte versies van eerdere samenvattingen. Voor de meer complete antwoorden wordt verwezen naar de plaatsen in deel II waar deze te vinden zijn.

Positie te midden van de familie

Vraag:

Welke sterke kanten en beperkingen, en welke interacties met mens- en wereldbeelden, karakteriseren dit familielid, mathematica, te midden van de familie als geheel?

Antwoord (hoofdstuk 9, § 1):

In de loop van de ontwikkeling van wiskunde en andere exacte familieleden is duidelijk geworden dat er vele gebieden zijn, en vele soorten van gevolglichheid, die (gedeelte-lijke) formalisering toelaten. De fysische wetenschappen hebben bijvoorbeeld hun ont-

staan aan die toepasbaarheid te danken. En dit geldt ook voor een aantal andere familieleden. Daarnaast zijn er ook takken van wetenschap die wiskundig-statistische methoden gebruiken om op het spoor van gevolgiijkheden te komen, waarbij de *aard* van die gevolgiijkheden later nog bepaald moet worden. Omdat zoveel andere leden van de onderzoeksfamilie op de één of andere wijze van wiskunde gebruik maken, hebben zij ook een aantal van de sterke kanten en beperkingen van wiskunde geërfd. Wiskunde neemt dus, vanwege al deze toepassingen en vanwege haar ouderdom, in deze familie een centrale positie in.

In hoofdstuk 8 is een benadering geïntroduceerd die radicaal verschilt van de wiskundige benadering, en die in de familie een geheel andere positie inneemt. Deze andere benadering, de fenomenologische of hermeneutische, speelt een belangrijke rol zodra kenmerken, waar de wiskundige benadering juist van afziet, zoals het unieke of het semantische, van belang zijn voor onderzoek. In het vervolg zal blijken dat met name onderzoek naar de samenhang tussen ondersteuning en vorming samenwerking met deze andere benadering van onderzoek vereist.

De wiskundige tak van de familie neemt binnen de gehele familie een ambivalente positie in. De wiskundigen die een essentialistisch of informatie-technocratisch wereld- en mensbeeld aanhangen achten zichzelf beter dan de rest, en zullen alleen met andere familieleden willen samenwerken wanneer die een dienende rol aanvaarden. Aan de andere kant staan de wiskundigen die de inperkingen, vereenvoudigingen en verwaarlozingen die wiskunde toepast om haar beperkte modus van kennis te ontwikkelen niet willen vergeten. Zij gaan ervan uit dat de 'volle werkelijkheid' veel complexer is dan wiskundig voorgesteld kan worden, en dat ook de menselijke geest veel complexer is dan het 'machinale denken', dat van oudsher zijn neerslag vindt in bewijzen en berekeningen, en dat sinds kort ook zijn neerslag vindt in rekenende en redenerende machines. Zij zullen graag samenwerken met andere familieleden, en ervoor openstaan dat zij van hen kunnen leren, omdat een multidisciplinaire benadering meer recht kan doen aan de complexiteit van mens en wereld.

Eisen aan de werkwijze

Vraag:

Stelt dit familielid specifieke eisen aan de werkwijze bij onderzoek?

Antwoord (hoofdstuk 9, § 2):

Zoals in hoofdstuk 7 (§ 9) samenvattend is betoogd, sluit ik mij in deze studie aan bij de onderzoekers die ervan overtuigd zijn dat de creatieve intuïtie van wiskundigen een nooit geheel kunstmatig na te maken vermogen is. De combinatie van strikt-formele logica en creatieve intuïtie vereist van wiskundigen dat zij goed kunnen schakelen tussen deze beide zeer verschillende benaderingen.

Is de samenhang tussen ondersteuning en vorming onderzoekbaar?

Vraag:

Kan de samenhang tussen 'ondersteuning' en 'vorming' volgens dit familielid beschouwd worden als een modus van onderzoekbare gevolglijkheid?

Antwoord (hoofdstuk 9, § 3):

Ja, sommige generieke aspecten van die samenhang kunnen beschouwd worden als wiskundig onderzoekbaar. En, wanneer wiskunde zich als gelijkwaardige partner opstelt en ruimte voor andere benaderingen open laat, dan kunnen haar onderzoeksresultaten bijdragen aan inzicht, en aan de kwaliteit van de ondersteuning.

Kansen op vorming

Vraag:

Welke kansen op vorming heeft het schoolvak wiskunde in principe te bieden?

Antwoord 1 (hoofdstuk 10, § 1.a), kansen op 'leren van positief inspirerende ervaringen':

- *Wiskundig inzicht*: de inspirerende ervaring die een persoon opdoet wanneer verwondering plaats maakt voor inzicht, omdat hij inziet dat een bepaalde samenhang logisch noodzakelijk is.
- *Competentie*: de inspiratie van het vermogen om, door middel van logisch-formeel redeneren en rekenen, tal van vraagstukken, problemen en uitdagingen op te kunnen lossen; de inspiratie van het vermogen om met behulp van inzicht in formele samenhangen vorm te kunnen geven aan tal van prestaties en producten.
- *Creatieve geschoolde intuïtie*: de inspiratie van het onnavolgbare intuïtieve vermogen om oplossingen te vinden, ook wanneer er (nog) geen 'recept' voor die oplossing bestaat; de inspiratie van de ontdekking dat dit creatieve vermogen door ervaring en oefening verfijnd en verbeterd kan worden.
- *Het collectieve bouwwerk*: de inspiratie van het deelnemen aan een groots collectief cultureel 'bouwproject', waaraan intelligente en gepassioneerde vormgevers al eeuwenlang hun 'steentjes' hebben bijgedragen.
- *Gebruik van kennis en intelligentie van anderen*: de inspiratie van de mogelijkheden om gebruik te maken van formele vondsten en inzichten van anderen, zoals die niet alleen belichaamd zijn in publicaties, maar ook in allerlei vormen van technologie, zoals informatietechnologie; de inspiratie om dankzij dit 'voorwerk' van anderen vele inzichten, terreinen en mogelijkheden te kunnen exploreren die vroeger onbereikbaar waren.
- *Samenwerking van 'artificial intelligence' (AI) en 'human intelligence' (HI)*: de inspiratie van de mogelijkheden om op grond van inzicht in de fundamentele verschillen tussen deze twee soorten van intelligentie, gebruik te kunnen maken van de wijzen waarop zij elkaar kunnen aanvullen en versterken.

- *Samenhangen ontdekken vooroordelen ontmaskeren*: de inspirerende mogelijkheden om via statistische methoden niet alleen verrassende samenhangen te kunnen ontdekken, maar om ook vooroordelen, illusies, of bedrog te kunnen ontmaskeren.
- *Helpen en geholpen worden*: de inspirerende ervaring van onderlinge ondersteuning die gegeven en ontvangen kan worden bij het verwerven van wiskundige inzichten.

Antwoord 2 (hoofdstuk 10, §§ 1.b t/m 1.d), kansen op 'leren van negatief inspirerende ervaringen':

- *Intuïtie*. De 'negatieve ervaringen' van het onvermogen van de wiskunde om haar intuïtie zelf te begrijpen, en om de intuïtieve werkfasen net zo zeker te maken als de wiskundige opbrengst, zijn de eerste ervaringen die in aanmerking komen om getransformeerd te worden in inspirerende ervaringen. Het leren waarderen en genieten van creatieve intuïtie is binnen het wiskunde-onderwijs de beste mogelijkheid om leerlingen de beperktheid van het formeel-logische te leren zien, en daaraan juist inspirerende ervaringen te ontleen (Poincaré).
- *Leren van geschiedenis*. Een tweede kans kan aandacht voor de geschiedenis van wiskunde en informatica bieden. Uit de negatieve effecten van hoogmoed en minachting, en van reductionisme en dualisme, die deze geschiedenis heeft laten zien, kunnen inspirerende lessen geleerd worden.
- *Mythen ontmaskeren, risico's doorzien*. In het verlengde daarvan kunnen leerlingen kritisch leren reflecteren over eigentijdse irreële mythevorming rond kunstmatige intelligentie, en anderzijds over reële risico's. Met dergelijke gesprekken en met andere werkvormen kan een leraar leerlingen ondersteunen om doemscenario's en andere negatieve ervaringen te transformeren in inspirerende weerbaarheid.
- *Fragmentatie en verkokering opheffen*. Scholen en opleidingen kunnen kansen bieden om ervaringen van 'innerlijke verkokering', of van opgeslotenheid in het keurslijf van een exact specialisme, om te zetten in inspirerende ervaringen van samenwerking met andere vakdisciplines.

Ondersteuning van vorming

Vraag:

Hoe kunnen schoolleiders zich voorstellen dat leraren wiskunde de vorming van leerlingen ondersteunen, en dat zijzelf de vorming van deze leraren ondersteunen?

Antwoord 1 (hoofdstuk 10, § 2.a), schoolleiders kunnen zich voorstellen dat leraren wiskunde de vorming van leerlingen ondersteunen door:

- het bieden van kansen op positief inspirerende ervaringen, en van kansen op negatief inspirerende ervaringen, en door daarbij recht te doen aan verschillende categorieën van leerlingen, zoals:
 - + leerlingen die wiskunde kunnen ervaren als inspirerend,
 - + leerlingen die wiskunde slechts kunnen ervaren als nuttig hulpmiddel,
 - + leerlingen die wiskunde slechts kunnen ervaren als noodzakelijk kwaad.

- bij alle drie de categorieën leerlingen hun vorming te ondersteunen door attent te zijn op het opdoemen van een 'zone van naaste ontwikkeling', en door dan het initiatief te nemen om samen met leerlingen aan te sturen op verdiepende kennismakingen, zodat de leerlingen op een hoger niveau uitgedaagd en geïnspireerd kunnen worden.

Antwoord 2 (hoofdstuk 10, § 2.b), schoolleiders kunnen zich voorstellen dat zij de vorming van leraren wiskunde (en informatica) ondersteunen door:

- teamcoaching (van de vaksectie en van kernteams), zowel procesmatig als inhoudelijk
- leiding te geven (procesmatig en inhoudelijk) aan visie-ontwikkeling op schoolniveau, teneinde een schoolbreed vormingsbeleid te formuleren dat ook voor leraren wiskunde als zingevend (inspirerend) kader kan fungeren,
- individuele ondersteuning.

Onderzoek

Vraag:

Kan men toetsend onderzoek inzetten ter verbetering van de ondersteuning van vorming op school, en zo ja, aan welke eisen moet zulk onderzoek voldoen?

Antwoord (hoofdstuk 10, § 3):

Ja, dat kan vermoedelijk wel, maar dan moet onderzoek vanuit de wiskundige kennisinteresse aangevuld worden door een onderzoeksbenadering die van een tegengestelde kennisinteresse uitgaat. Een kennisinteresse die kennis van unieke kenmerken als hoofdzaak beschouwt, en die generieke kenmerken of -concepten slechts van belang acht voor zover zij nuttig zijn om die hoofdzaak te dienen.

Identiteitskenmerken

Vraag:

Welke aanwijzingen levert het in dit deel beschreven verkennende onderzoek naar dit familielid op, omtrent identiteitskenmerken die eraan kunnen bijdragen dat een schoolleider in zijn school goed (en beter) functioneert als pedagogisch leider, ten aanzien van het onderwijs in de wiskunde?

De beantwoording van deze vraag is te vinden in hoofdstuk 10 (§§ 1.e, 2.c en 3). Deze leidde uiteindelijk tot een samenvatting in 16 identiteitskenmerken (in § 4). Aan het einde van deel III werden deze identiteitskenmerken geïntegreerd met de uitkomsten van deel III, tot één overzicht van de identiteitskenmerken die de delen II en III samen hebben opgeleverd. Dit overzicht is aan het einde van de volgende sub-paragraaf te vinden op pagina 725 e.v.

1.b Deel III: Fysische wetenschap en Vorming

In het nu volgende gedeelte worden de opbrengsten van deel III samengevat, in de vorm van antwoorden op de richtvragen die in de inleiding van deel III geformuleerd werden. Opnieuw zijn de hier gegeven samenvattingen meestal ingekorte versies van de in deel III gegeven samenvattingen. Voor de meer complete antwoorden wordt verwezen naar de plaatsen in deel III waar deze te vinden zijn.

Positie te midden van de familie

Vraag:

Welke sterke kanten en beperkingen, en welke interacties met mens- en wereldbeelden, karakteriseren dit familielid, fysische wetenschap, te midden van de familie als geheel?

Antwoorden (hoofdstuk 16, §§ 1.j en 1.k):

De sterke kanten van fysische wetenschap hangen vooral samen met de buitengewoon vruchtbare onderzoeks-benadering, waarvan belangrijke grondprincipes in de 17^e eeuw ontwikkeld werden. Tot deze grondprincipes behoren:

- Het formuleren van eisen waaraan waarnemingen moeten voldoen, om als 'observaties' bruikbaar te zijn. Dankzij het voldoen aan deze eisen:
 - + zijn observaties uitwisselbaar, herhaalbaar, toetsbaar, en verbeterbaar binnen de fysische gemeenschap;
 - + kunnen observatoren het eens worden en observaties als 'feiten' vaststellen;
 - + zijn observaties vertaalbaar naar mathematische variabelen in modellen.
- Het beperken van verklarende modellen tot mathematisch formuleerbare modellen waarin bovendien slechts twee soorten van gevolglichheid toegelaten zijn, namelijk recursieve gevolglichheid en deel-geheel gevolglichheid, samen te vatten onder de term 'causaliteit'.
- Het toetsen en verbeteren van verklarende modellen door middel van experimenten en observaties.

Twee apart te noemen sterke punten zijn dat fysische wetenschap, in de loop van haar geschiedenis, in staat blijkt te zijn om:

- onder invloed van eigen onderzoek overschatte kennispretenties en oude vanzelfsprekendheden op te geven, zoals blijkt uit:
 - + de acceptatie van toeval;
 - + het opgeven van het traditionele concept van absolute ruimte en tijd;
 - + de acceptatie van onvoorstelbare concepten zoals 'gekromde ruimte-tijd';
 - + de acceptatie van onvoorstelbare complementariteit in de kwantummechanica;
 - + et cetera.
- en om, ondanks bovengenoemde ingrijpende herzieningen, toch vast te blijven houden aan de grondprincipes van haar vruchtbare onderzoeksbenadering.

In principe kan gesteld worden dat de beperkingen van de fysische wetenschap de keerzijde vormen van haar grondprincipes. Immers, alle systemen die niet aan de eisen van deze principes voldoen zijn niet fysisch onderzoekbaar.

De historische interacties tussen fysische wetenschap en mens- en wereldbeelden leidden echter, ondanks de ogenschijnlijke eenvoud van bovenstaande stelling, tot verschillende interpretaties en consequenties. Een aantal invloedrijke interpretaties resulteerden (en resulteren nog steeds) uit identificatie van het natuurbeeld van de fysische wetenschap met dé natuur. Die identificatie had (en heeft) bepaalde opvattingen als consequentie, zoals:

- omdat de causaliteit van mechanismen de enige gevolglijkheid is die in de natuur voorkomt, kunnen vormen van finaliteit, functionaliteit en betekenis niet voorkomen in de natuur, zoals die objectief bestaat;
- de enig mogelijke verklaring, voor de functionaliteit, finaliteit, behoeften, waarden, en betekenissen waar het menselijke leven van doordrenkt is, is dat mensen in essentie buiten en boven de natuur staan;
- vanuit de cultuur kan de natuur alleen gezien worden als een vijandige 'wildernis', die ongelimiteerd overheerst en geëxploiteerd mag worden.

Als voorbeeld van een andere interpretatie werd de fysica-interpretatie van Gerard Sizoo behandeld. Deze zag in de 20^e-eeuwse ontwikkelingen van de fysica aanleiding om zowel het klassieke objectiviteitsconcept, als het dualisme in het mensbeeld, als de uiteenstelling van cultuur en natuur af te wijzen. Enkele cruciale elementen van zijn interpretatie waren:

- fysische kennis is gebaseerd op zelfgekozen beperkingen tot fysisch-objectieve observaties en fysisch-objectieve kennis van mechanismen, c.q. invarianties;
- fysische objectiviteit impliceert dat onderzoekers volgens interne regels ertoe gebracht of gedwongen kunnen worden om het over fysische kennis (voorlopig) eens te zijn; deze eensgezindheid impliceert slechts dat fysische kennis *relatief-objectief* is; omdat een 'subjectief aandeel' voor fysische kennis noodzakelijk is, blijft deze kennis menselijke kennis;
- de zelfbeperkingen van de fysica impliceren dat haar natuurkennis en haar natuurbeeld selectief en niet uitputtend zijn.

Fysische wetenschap neemt in de wetenschaps-familie, naast wiskunde, de respectabele positie in van een oud familielid met een bijzonder rijke geschiedenis.

Binnen de familie is het een belangrijke verdienste van fysische wetenschap dat zij methoden ontwikkelde om kennis 'van hoge kwaliteit' voort te brengen. Een cruciaal aspect van die 'hoge kwaliteit' is de mate van zekerheid van fysische kennis. Terwijl wiskunde al gezien kan worden als tak van wetenschap die zich toelegt op kennis met een hoge mate van *logische* zekerheid, heeft fysica aan die wiskundige ambitie toegevoegd dat zij zich ook toelegt op het voortbrengen van kennis met een hoge mate van *empiri-*

sche zekerheid. Fysici kunnen poneren dat hun kennis in hoge mate zeker is, omdat al hun kennis met de hoogst bereikbare mate van nauwkeurigheid kritisch getoetst is, of wordt, aan de empirie van fysische experimenten en fysische observaties. Samen met het generieke karakter van fysische kennis heeft deze zekerheid enorme gebieden van betrouwbare technische toepassingen mogelijk gemaakt.

Binnen de familie roept een dergelijk indrukwekkend voorbeeld de vraag op of dit voorbeeld voor de hele familie maatgevend moet zijn. Verdient kennis het keurmerk 'van hoge kwaliteit' alleen als die kwaliteit aan de criteria van exacte empirische wetenschap wordt afgemeten? Of moeten voor andere takken van wetenschap andere criteria gelden? In de loop van de ontwikkeling van die andere takken van wetenschap heeft deze vraag veel discussie opgeroepen en veel denkwerk gevraagd.

De verkenning in dit deel heeft laten zien dat de fysische onderzoeksgemeenschap in deze discussies, en met betrekking tot dit denkwerk, ambivalente posities inneemt, vergelijkbaar met de ambivalente posities die de mathematische onderzoeksgemeenschap inneemt. Zoals in dit deel met name bleek bij de beschrijving van de positie die Sizoo innam, kunnen fysici posities innemen tussen de polen van extreem objectivisme (c.q. essentialisme) en extreem subjectivisme (c.q. instrumentalisme). Sizoo vertegenwoordigde binnen dit spectrum een 'middenpositie'.

Deze 'middenpositie' impliceert de opvatting dat de sterke kanten van fysische kennis kwaliteit een keerzijde hebben van ingrijpende beperkingen, die belangrijke aspecten van natuurlijke en menselijke werkelijkheid van kennisontwikkeling uitsluiten. In dit licht gaat de 'hoge kwaliteit' van fysische kennis gepaard aan verlies met betrekking tot andere kennis-soorten. Voor fysici, die ook verantwoordelijkheid willen nemen voor beter gebruik van fysische kennis, en die daartoe met andere disciplines willen samenwerken, is het besef van de beperktheden van fysische kennis en de openheid voor andere soorten van kennis van groot belang.

Eisen aan de werkwijze

Vraag:

Stelt dit familielid specifieke eisen aan de werkwijze bij onderzoek?

Antwoord (hoofdstuk 16. § 2):

Omdat wiskunde een essentieel aspect is van de taal waarin fysica haar modellen formuleert, erft fysica ook de werkwijze-eisen van wiskunde, zoals die hierboven in § 1.a werden samengevat.

Omdat fysica heeft vastgehouden aan het streven naar waarheid, in de vorm van toetsing door middel van experiment en observatie, komen er nog een aantal eisen bij:

- de eis dat fysische modellen zodanig ontworpen worden dat zij toetsbare observaties voorspellen;

- de eis dat een fysicus in staat is om vernuftige experimenten te ontwerpen waarmee hypothesen of onderzoeksresultaten van anderen getoetst kunnen worden;
- de eis dat een fysicus, bij uitvoering van een experiment, aan alle eisen voor fysische observatie voldoet;
- de eis dat een fysicus, samen met technici, in staat is om de technische aspecten van een experiment te ontwerpen; de fysicus blijkt dan in staat om ook voort te bouwen op de kennis van zijn voorgangers door gebruik te maken van instrumenten die op hun kennis gebaseerd zijn.

Is de samenhang tussen ondersteuning en vorming onderzoekbaar?

Vraag:

Kan de samenhang tussen 'ondersteuning' en 'vorming' volgens dit familielid beschouwd worden als een modus van onderzoekbare gevolglichheid?

Antwoord (hoofdstuk 16, § 3):

Deze samenhang kan *niet* beschouwd worden als een modus van gevolglichheid die volgens de methoden van dit familielid onderzoekbaar is, om de volgende redenen:

- de waarnemingen, waarop onderzoek naar de samenhang tussen ondersteuning en vorming gebaseerd moet zijn, gaan de restricties van fysische observaties ver te buiten;
- de niet-causale gevolglichheid die dergelijk onderzoek aan het licht zou moeten brengen, wordt in de fysica juist uitgesloten.

Kansen op vorming

Vraag:

Welke kansen op vorming hebben de schoolvakken scheikunde en natuurkunde in principe te bieden?

Antwoord 1 (hoofdstuk 15, §§ 1 en 3), kansen op 'leren van positief inspirerende ervaringen':

- *Fysisch inzicht en toetsingsethiek:* Voor fysici is het, net als voor wiskundigen, inspirerend om een logisch-formele structuur en zijn consequenties te doorzien. Voor fysici komt daar nog bij dat de structuren die zij doorzien verbonden zijn met concrete eigenschappen van natuurlijke systemen.

De 'ontdekkerspassie' van fysici getuigt tegelijk van de passie om vooroordelen, vergissingen of bedrog te ontmaskeren, en naar ware kennis te streven. Het klassieke voorbeeld daarvan biedt Galileo Galileï, die ontdekte dat de valbeweging volgens eenvoudige mathematische wetten verloopt, en die tegelijk daarmee het eeuwenoude vooroordeel ontmaskerde dat zwaardere voorwerpen per definitie sneller zouden moeten vallen.

- *Competentie en macht, bereik en beperking:* het wiskundig-generieke karakter van fysische modellen impliceert dat fysische waarheid opgaat voor alle bijzondere ge-

vallen van een generiek object. Daardoor stellen de inzichten van fysische wetenschap mensen in staat om gewenste resultaten als het ware 'van de natuur af te dwingen'. Voor vormgevers, die al geïnspireerd zijn om iets te maken, kan deze macht hun bestaande inspiratie versterken, omdat zij technische mogelijkheden zien om hun doel te bereiken.

Maar, met die inspirerende macht is ook een beperking verbonden, die met het gebruik van deze macht verbonden is. De keerzijde van deze macht is machteloosheid ten aanzien van misbruik. Het uit de hand lopen van dit gebruik kan een *destructieve terugslag* hebben op de inspiratie en zingeving, die oorspronkelijk met de kennisontwikkeling verbonden waren.

- *Creatieve geschoolde intuïtie*: De zingevende voldoening die fysici ontleen aan het gebruik van hun intuïtie is nauw verwant aan de eerder beschreven voldoening die математици daaraan beleven. Einstein beschreef deze ervaring als de mooiste die mensen kan overkomen, en als de ervaring die zowel ten grondslag ligt aan ware kunst als aan ware wetenschap.
- *Het collectieve bouwwerk*: Deze categorie van zingevende ervaringen geldt in zijn geheel ook voor fysica. De resultaten van deze tak van wetenschap zijn evenzeer accu-muleerbaar als de resultaten van de wiskunde. Daarom hebben ook de fysische wetenschappen geleid tot een imposante 'kathedraal' die een lange en indrukwekkende geschiedenis belichaamt.
- *Samenwerking van techniek en wetenschap*: Wanneer men een geavanceerd fysisch experiment beschouwt, dan ziet men dat vele fysische inzichten uit voorafgaande perioden, nu geïncorporeerd zijn in de uiterst geavanceerde onderdelen van het instrumentarium. De ervaring, om staande op de top van een berg aan kennis en technische beheersing zelf een steentje bij te dragen, en van het uitzicht te genieten, kan de diepe voldoening geven die voor fysici hun vak inspirerend maakt.
- *Helpen en geholpen worden; speelse vormen van strijd*: Naast het helpen en geholpen worden, werd in dit verband nu ook een ander element genoemd dat -achteraf gezien- ook opgaat voor de wiskundige praktijk. Volgens Huizinga behoren speelse vormen van *competitie* en *polemiek* tot de essentiële elementen van wetenschap. Met het 'speelse' wordt bedoeld dat competitie en strijd geen doel-zichzelf zijn, maar in dienst staan van kennis en waarheid.

Antwoord 2 (hoofdstuk 15, §§ 4 en 5), kansen op 'leren van negatief inspirerende ervaringen':

- *Intuïtie*. De fysicus, die intuïtie ervaart als het geschenk van een complex proces dat hij als fysicus niet kan doorgronden, kan daarin een inspirerend tegenwicht ervaren tegen de reductie tot de simpelheid van mechanismen, die de fysica voorschrijft.
- *Verantwoordelijkheid*. Wanneer fysici de negatieve ervaringen van de bovengenoemde 'destructieve terugslag' willen omzetten in positieve inspiratie, dan moeten zij vormgeven aan verantwoordelijkheid voor het gebruik van fysische kennis, en samenwerkingen aangaan met andere disciplines. Wanneer zij dit doen kunnen de

inspiraties van fysische 'Entdeckerfreude' en van het bijdragen aan constructieve ontwikkelingen (vrede, duurzaamheid, et cetera) elkaar versterken.

- *Verkokering opheffen.* Fysici kunnen, net zoals mathematici, benauwende ervaringen van specialistische verkokering en fragmentatie omzetten in inspirerende ervaringen wanneer zij zich ervoor openstellen dat 'natuur' en 'werkelijkheid' rijker zijn dan wat fysische wetenschappen daarvan kunnen bevatten, en wanneer zij samenwerking aangaan met andere kennisbenaderingen.
- *Fysische mythevorming ontmaskeren.* Evenals wiskunde en informatica blijken ook fysische disciplines aanleiding te geven tot bedrieglijke mythevorming. Vorming in reflectie op de aard van fysische kennis, en op de 'verbeterde onwetendheid' die per definitie aan verbeterde kennis gepaard gaat, kan de weerloosheid tegen dergelijke mythevorming opheffen, en bijdragen aan inspirerende intellectuele weerbaarheid tegen bedrieglijke illusies.
- *Leren van geschiedenis.* De geschiedenis van fysische wetenschap kan fungeren als rijke bron voor bovengenoemde kritische reflecties. Deze geschiedenis laat slingerbewegingen zien van bescheidenheid naar hoogmoed en vice versa. Kennisname daarvan kan inspireren tot kritische reflecties op kennisaanspraken en op begeleidende mens- en wereldbeelden. Op ieder niveau van onderwijs kunnen kritische reflecties die uit deze rijke bron gevoed worden, ook leerlingen inspireren.

Ondersteuning van vorming

Vraag:

Hoe kunnen schoolleiders zich voorstellen dat leraren schei- en natuurkunde de vorming van leerlingen ondersteunen, en dat zijzelf de vorming van deze leraren ondersteunen?

Antwoord (hoofdstuk 17, § 2):

De antwoorden op deze vraag, die in deel II al gegeven werden (zie pagina 712 e.v.), gelden mutatis mutandis ook voor de ondersteuning van leerlingen en leraren schei- en natuurkunde.

Daarnaast bleek het filosoferen met leerlingen over natuurkunde (en scheikunde), met name over de sterke kanten en beperkingen van deze vakken, en over de positief en negatief inspirerende ervaringen die zij kunnen opleveren, een gedaante te zijn die het ondersteunen van vorming in de onderwijspraktijk kan aannemen. Dergelijke gesprekken ondersteunen dat leerlingen het belang van inspiratie en vormgeverschap duidelijker beseffen, en zorg leren besteden aan hun ontwikkeling daarin.

Het antwoord, op de vraag naar de ondersteuning van de vorming van leraren, kan beginnen bij de aanname dat het ideaalbeeld van pedagogische schoolleiders zal inhouden, dat de leraren van alle schoolvakken de vorming van leerlingen ondersteunen, onder andere met filosoferen over hun vak. De ondersteuning die deze gesprekken bieden zal aan kracht winnen wanneer de leraren zich een gemeenschappelijke taal over

vorming hebben verworven, zodat de leerlingen samenhang zullen ervaren in de gesprekken over dit thema die zij met verschillende leraren voeren.

Om te bereiken dat de leraren elkaar inspireren om het vorming-ondersteunende karakter van hun onderwijs te verbeteren, en om te bereiken dat zij daarbij een gemeenschappelijke taal verwerven, is het nodig dat zij onderlinge gesprekken voeren die aan deze doelen bijdragen. Een schoolleider kan zich daarom voorstellen dat hij de leraren exacte vakken uiteindelijk het beste kan ondersteunen, door het organiseren van leerzaam en inspirerend filosoferen over vorming in onderwijs waar de leraren van alle schoolvakken aan deelnemen.

Onderzoek

Vraag:

Kan men toetsend onderzoek inzetten ter verbetering van de ondersteuning van vorming op school, en zo ja, aan welke eisen moet zulk onderzoek voldoen?

Antwoord 1 (hoofdstuk 15, §§ 1.b en 2), behoefte aan inzicht in dimensies van vorming:

De inspirerende ervaringen van competentie en macht die toepassingsneutrale fysieke kennis met zich mee brengt, bleken een keerzijde te hebben in machteloosheid ten aanzien van misbruik (pagina 718). De vorming, die zich met deze ervaringen van competentie en macht voedt, levert geen bijdrage aan geïnspireerd vormgeverschap op het gebied van doelen voor dit gebruik. Uit de mogelijkheid dat dit gebruik uit de hand kan lopen, en destructief kan worden, blijkt dat dit laatste vormgeverschap ook zeer belangrijk is. Kennelijk moeten er aan vorming meerdere 'dimensies' onderscheiden worden die aandacht verdienen. Voordat er aan de vraag naar toetsend onderzoek toegekomen kan worden moet daarom eerst het concept 'vorming' nader onder de loep genomen worden, om te bezien of dit een onderscheiding in verschillende dimensies toelaat.

Om zicht te krijgen op mogelijkheden voor het onderscheiden van dergelijke 'dimensies' werd de filosofie van Levinas verkend op aanknopingspunten. Het eerste antwoord van Levinas op de vraag naar de oorsprong van oorspronkelijk vormgeverschap, komt erop neer dat oorspronkelijkheid te danken is aan ervaringen van 'genieten' en 'spelen'. Deze begrippen moeten dan wel op een specifieke manier worden opgevat, enerzijds breder en anderzijds specifiekere dan het dagelijks gebruik van deze termen. Het gaat om 'zingevend genieten' (dat moeite, pijn of verdriet niet uitsluit) en om 'zingevend spelen' (waarin nuttigheid niet de hoofdrol speelt). Dit 'genieten en spelen' heeft volgens Levinas een moreel onbekommerd (egocentrisch) karakter. Het spelconcept van Levinas bleek verwant te zijn aan het spelconcept van Huizinga (*Homo ludens*).

Toepassing van deze zienswijze op de inspiratie die fysici aan hun discipline ontleen maakt duidelijk dat een groot deel van die inspiratie tot de categorie van 'zingevend genieten en spelen' gerekend kan worden.

Het tweede antwoord van Levinas op dezelfde vraag komt erop neer dat een andere dimensie van oorspronkelijkheid te danken is aan ervaringen waarin een beroep wordt gedaan op verantwoordelijkheid. In deze ervaringen wordt het genietende en spelende subject losgeslagen uit zijn egocentrische gerichtheid op zichzelf, en bepaald bij zijn verantwoordelijkheid om zorg te dragen voor levensmogelijkheden van anderen. Eén van de wijzen waarop hij deze categorie van zingevende ervaringen verduidelijkt, is zijn interpretatie van het gebod "Gij zult niet doden", dat hij uitlegt als "Gij zult mij doen leven". In het licht van deze uitleg komt Levinas' tweede antwoord neer op: wat mij doet leven is verantwoordelijkheid nemen om de ander (c.q. anderen) te doen leven.

Deze zienswijze maakt duidelijk dat het ook voor de vorming van fysici van belang is dat zij zich van tijd tot tijd laten losslaan uit het fascinerende genieten van en spelen met hun vak, om hun ethische originaliteit te ontdekken, en tot bloei te laten komen, in het vormgeven aan verantwoordelijkheid.

Het derde antwoord op deze vraag werd ontleend aan Paul van Tongeren. Het concept van inspirerende dankbaarheid, dat hij in zijn gelijknamige boek 'op een voetstuk zet', kan getypeerd worden als: het vermogen om zich te verheugen over wat ontvangen is. Dit vermogen is een deugd die ieder mens in aanleg bezit, maar die verder gecultiveerd en ontwikkeld kan worden. In het verlengde van bovenstaande kan deze deugd omschreven worden als: het vermogen om mij te verheugen in alles wat mij 'doet leven', en dat ik niet aan mijzelf te danken heb. Deze dankbaarheid kan dus betrekking betrekking hebben op de beide dimensies die Levinas benadrukte: ik kan mij verheugen in alles wat mij doet spelen en genieten, en in alles wat mij verantwoordelijkheid doet nemen. Deze zingevende dankbaarheid wekt generositeit. De dankbare mens verheugt zich niet alleen in alles dat als een geschenk ontvangen kan worden, maar ook in alle gelegenheden om daarvan iets terug te geven of door te geven. Daarom kan deze dankbaarheid gezien worden als derde dimensie van subjectwording ofwel vorming. Voor opvoeding en onderwijs is deze dankbaarheid bovendien een essentiële drijfveer. Zij biedt een sterk motief voor pedagogisch leiderschap, omdat een dankbare opvoeder zich kan verheugen in alle gelegenheden om aan een volgende generatie door te geven 'wat een mens doet leven', zonder daarvoor met gelijke munt terugbetaald te hoeven worden.

Toegepast op vorming in verband met fysieke schoolvakken kan geconcludeerd worden dat dankbaarheid een belangrijk rol kan vervullen in het voorkomen van de 'destructieve terugslag', die het gevolg kan zijn van afsluiting voor verantwoordelijkheid bij fysieke vormgevers (en anderen). Dankbaarheid biedt immers een reden om verantwoordelijkheid niet als alleen als ongevroegde storing of opgelegde verplichting te ervaren, maar om zich ook te verheugen in de gelegenheid om iets door te geven uit de rijkdom die men zelf met vreugde ontvangen heeft.

Antwoord 2 (hoofdstuk 17, § 3.c), voorstelling van toetsend onderzoek:

Wie onderzoek wil doen naar de samenhang tussen ondersteuning en vorming, die kan beginnen bij het vraagstuk van onderzoek naar vorming. Oplossingen voor dit vraagstuk zijn te vinden bij onderzoekers die zich richten op onderzoek naar *actorschap*.

Eén van de onderzoekers die antwoorden heeft ontwikkeld op het vraagstuk van onderzoek naar actorschap is Gerard de Zeeuw. In deel III is zijn benadering gebruikt om een voorstelling van vormings-onderzoek te ontwikkelen. De methodische grondprincipes van deze benadering kunnen samengevat worden tot:

- Uitgaan van het postulaat dat het voorwerp van onderzoek een *actor* is, die als *oorsprong* kan fungeren van een breed spectrum van acties.
- Ervan uitgaan dat de onderzoeker ook in actie komt, teneinde in een situatie een vorm van *interactie* te bereiken met twee kenmerken:
 1. dat eigen acties *ge-elicitieerd* (ontlokt) worden aan de actor die voorwerp van onderzoek is;
 2. dat deze eigen acties tegelijk zodanig *gekanaliseerd* worden dat onderzoek naar deze acties mogelijk gemaakt wordt (vergelijkbaarheid, ingeperkte variëteit, et cetera).

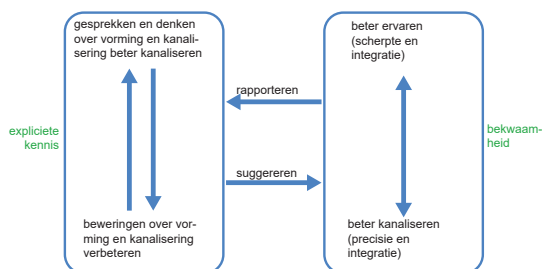
Om te illustreren hoe dergelijk vormings-onderzoek er in een onderwijs-situatie uit kan zien werd een bestaande praktijk uit het taal-onderwijs (het maken van 'elfjes') als uitgangspunt genomen. Het voorbeeld dat zodoende werd uitgewerkt verduidelijkte onder andere:

- dat het eliciteren en kanaliseren bedoeld is om een interactie op gang te brengen die zelf het eliciteren en kanaliseren in stand houdt, en een focus op specifiek vormgeverschap continueert; en dat het oproepen en zo nodig bijsturen van een dergelijke interactie een complexe kunst en kunde is;
- dat een dergelijk onderzoek als doelen heeft:
 1. om een specifiek aspect van het vormgevende vermogen van leerlingen *aan het licht te brengen* (zowel voor de leraar als voor de leerlingen), en
 2. om aan die ontdekking *suggesties* voor verbetering te ontlene
 - voor de leerlingen: suggesties voor verdere ontwikkeling van hun vormgevend vermogen
 - voor de leraar: suggesties voor verdere ontwikkeling en verbetering van elicitering- en kanalisering-methoden
- dat een dergelijk onderzoek verschillende vormen van toetsing impliceert:
 - + toetsing op de vraag of leerlingen, en zo ja welke leerlingen, door de ontlokte en gekanaliseerde interactie geïnspireerd worden tot vormgeverschap;
 - + toetsing van de gehanteerde elicitering en kanalisering.

Een bezwaar van het gekozen voorbeeld was, dat het niet uit de sfeer van exacte schoolvakken afkomstig was. In reactie daarop werd opgemerkt, dat het weliswaar lastig bleek om uit de praktijk van exacte vakken een algemeen bekend en duidelijk voorbeeld van concentratie op op vormgeverschap te vinden, maar dat die voorbeelden er wel zullen zijn, en zeker ontwikkeld kunnen worden.

Voor het realiseren van de doelen van dergelijk vormings-onderzoek is het van belang, dat de ervaringen en resultaten van het bij leerlingen uitgevoerde vormings-onderzoek gerapporteerd worden aan een onderzoeksteam van leraren (zie figuur 11). Wanneer dit team bestaat uit leraren die voor dezelfde leerlingen onderwijs verzorgen, maar voor verschillende vakken, dan kan analyse en vergelijking van rapportages van onderzoek bij verschillende vakken boeiende resultaten opleveren. Van de unieke ontwikkeling van iedere leerling in vormgeverschap kan een rijk beeld gevormd worden, en de leraren kunnen hun bewaamheden om te eliciteren en te kanaliseren verbeteren.

Figuur 11



Om dit goed te kunnen doen moet ook de interactie in het lerarenteam adequaat gekanaliseerd zijn. Deze kanalisering houdt in:

- dat de teamleden zich in die mate laten absorberen door het onderzoeks-spel en zijn concentratie op vorming, dat zij andere belangen of agenda's 'tussen haken zetten';
- dat het onderzoeksteam en zijn focus op vorming levensvatbaar moet zijn in zijn omgeving.

Vormings-onderzoek blijkt bij te dragen aan de ontwikkeling van twee onderling gelijkwaardige categorieën van kennis, namelijk gesitueerde kennis en generieke kennis. Vanwege de onherleidbaarheid van gesitueerde kennis houden generieke beweringen het karakter van suggesties.

Antwoord 3 (hoofdstuk 17, § 3.c / 4. Eisen), eisen:

Samenvatting van de eisen waaraan vormings-onderzoek moet voldoen, om met recht als 'onderzoek' beschouwd te worden:

1. Op het niveau van rapportage en analyse in een onderzoeksteam wordt kanalisering methodisch toegepast teneinde concentratie op de ontwikkeling van één vorm van doelgerelateerde en deels gesitueerde kennis te bereiken.
2. Op het niveau van onderzoeksuitvoering wordt een perspectief-uitbreiding toegepast die tot uitdrukking komt in het vervangen van 'ondersteuning' door methodisch toegepaste 'kanalisering' (inclusief elicitering).
3. Gesitueerde kennis en generieke kennis komen over en weer ten goede aan elkaars verbetering, door middel van een methodisch-systematische werkwijze.

4. De aandacht voor generieke kennis maakt dat vormings-onderzoek in algemene termen gerapporteerd kan worden, en zodoende ook kan voldoen aan de algemene eis van transparante verantwoording van onderzoek in een wereldwijde vormings-onderzoeks-gemeenschap.

Het gevolglichheidsprobleem

Door de hierboven samengevatte beantwoording van de vraag naar onderzoek bleek ook het *gevolglichheidsprobleem* beantwoord te zijn, dat in deel I geformuleerd werd als een bijkomende vraagstelling (hoofdstuk 2, § 4.b).

Het gevolglichheidsprobleem luidt:

Kan de samenhang tussen 'ondersteuning' en 'vorming' beschouwd worden als een modus van gevolglichheid die vatbaar is voor toetsend onderzoek;

kan deze modus van gevolglichheid gepositioneerd worden te midden van andere modi van toetsbare gevolglichheid;

stelt deze modus van gevolglichheid specifieke eisen aan de werkwijze bij toetsend onderzoek?

Antwoord op de eerste vraag (hoofdstuk 17, § 3.c / 2. Kanaliseren en toetsen):

Ja, dat kan, en daarbij moet de samenhang tussen 'ondersteuning' en 'vorming' niet alleen als voorwerp van onderzoek en kennisontwikkeling beschouwd worden, maar ook als de samenhang tussen een 'onderzoeksbril' (eliciteren + kanaliseren) en 'onderzoeks-opbrengsten' (kennis van vorming van leerlingen).

De reden daarvoor is, dat in dergelijk doelgerelateerd onderzoek twee soorten van resultaten (beter *weten* en beter *handelen*) alleen in nauwe samenhang nagestreefd en bereikt kunnen worden. Partieel *weten* hoe vorming ge-eliciteerd en gekanaliseerd kan worden kan alleen getoetst worden door die kennis te *gebruiken* (overeenkomstig het doel van die kennis) en de vorming te ervaren die in respons daarop aan het licht komt. Zodoende wordt kennis van vorming van leerlingen, in zijn samenhang met het gebruik van een specifieke elicitering- en kanaliseringmethode, verder ontwikkeld. In vervolg daarop kan en moet de kennis (bekwaamheid) om vorming te eliciteren en te kanalisieren verder ontwikkeld worden, met als beoogd resultaat dat zowel (kennis van) vorming als (kennis van) elicitering en kanalisering verbeteren, en zo voorts. Bij doelgerelateerd onderzoek staan kennis en gebruik nu eenmaal niet los van elkaar, zoals bij toepassings-neutraal onderzoek, maar zijn deze beiden nauw verbonden.

Antwoorden op de tweede vraag (hoofdstuk 17, § 3.c / 3. Positionering):

1. 'Vormings-gevolglichheid' is complexer dan 'wiskundig-statistische gevolglichheid', omdat men enerzijds wiskundig-statistisch juiste generieke samenhangen rond vorming kan vaststellen, maar er anderzijds op uniek-individueel niveau ook gevolglichheid in het spel is, die ontsnapt aan de generaliserende variabelentaal van wiskunde, en die ook niet aan toeval toegeschreven moet worden.

2. Omdat 'vormings-gevolglijkheid' behoort tot het domein van menselijke systemen, is er sprake van een grote sprong in toename van complexiteit wanneer men deze gevolglijkheid positioneert ten opzichte van de 'mechanisme gevolglijkheid' waartoe de fysische wetenschappen zich beperken.

Deze positioneringen kunnen nog verder aangevuld en verfijnd worden door er meer takken van onderzoek bij te betrekken.

Antwoord op de derde vraag:

Zie het hierboven al gegeven antwoord op de vraag naar de eisen die aan vormings-onderzoek gesteld moeten worden.

Identiteitskenmerken

Aan het einde van deel III werden de identiteitskenmerken, die de verkenningen van deel II en deel III hebben opgeleverd, geïntegreerd in één overzicht, in antwoord op de vraag:

Welke identiteitskenmerken kunnen eraan bijdragen dat een schoolleider in zijn school goed (en beter) functioneert als pedagogisch leider, ten aanzien van het onderwijs in de exacte vakken?

Antwoord (hoofdstuk 17, § 4): Dat de schoolleider

1. intrinsiek gemotiveerd en in staat is om authenticiteit te tonen en ontmoetingen te organiseren omdat hij beseft dat dit algemene kenmerken van ondersteuning zijn, die zowel gelden voor de vorming van leerlingen, als voor de vorming van leraren; en die hij als het 'gezicht van de school' moet uitdragen als essentiële waarden in de schoolcultuur;
2. zelf ervaring heeft opgedaan in het 'met hart en ziel' ondersteunen van vorming van jonge mensen;
3. ook alert is op de valkuil van projectie, en met belangstelling openstaat voor de andere creatieve vormgevingen aan ondersteuning, die de leraren exacte vakken van zijn school ontwikkelen;
4. zich kan voorstellen, en ook kan waarderen,
 - + dát de exacte vakken voor mensen, en dus ook voor leerlingen, positief- en negatief inspirerende ervaringen kunnen opleveren, en ook globaal weet
 - + welke ervaringen dat zijn, en welk vormgeverschap het onderwijs in de exacte vakken bij leerlingen in principe kan stimuleren;
5. een gefundeerd beeld heeft van de sterke kanten, beperkingen, verleidingen en risico's van de 'wiskundige bril' en van de 'fysische bril';
6. intrinsiek gemotiveerd en in staat is om zijn voorstellings-arsenaal van de ondersteuning van vorming door leraren exacte vakken uit te breiden door gebruik te maken van zoveel mogelijk bronnen van verschillende soort;

7. intrinsiek gemotiveerd en in staat is om via coaching van vaksecties exacte vakken, en via coaching van vakoverstijgend kernteams, procesmatig bij te dragen aan de kwaliteit van teambezinning op:
 - + eerste mogelijkheden voor ondersteuning van vorming van leerlingen,
 - + verbetering van ondersteuning,
 - + vernieuwing van ondersteuning,
 - + zingevende kwaliteit van ondersteuning;
8. intrinsiek gemotiveerd en in staat is
 - + om verschillende soorten van zingevende ervaringen (zoals: zingend spelen en genieten, zingevende verantwoordelijkheid en zingevende dankbaarheid), en daarmee corresponderende dimensies van vorming, bij zichzelf en bij anderen te herkennen, en
 - + om zich een beeld te vormen van de onderlinge relaties tussen deze ervaringen en dimensies (bij zichzelf en bij anderen), en
 - + om bewust met deze ervaringen en dimensies om te leren gaan, met name in verband met het verwerven van toepassingsneutrale kennis in exacte vakken en verantwoordelijkheid voor het gebruik daarvan;
9. intrinsiek gemotiveerd en in staat is om bij de hiervoor genoemde teamcoaching inhoudelijk aan kwaliteit bij te dragen, door te bevorderen dat een gemeenschappelijke taal geïntroduceerd en gebruikt wordt, die het mogelijk maakt om te onderscheiden tussen verschillende soorten van zingevende (c.q. inspirerende) ervaringen en tussen verschillende dimensies van vorming; met het doel dat deze taal het mogelijk maakt om de verschillende gedaanten van vorming en van ondersteuning beter te herkennen, te ordenen, en met elkaar in verband te brengen; en met het doel dat de leraren van verschillende vakken ook in hun gesprekken met leerlingen over vorming voor een groot deel dezelfde taal hanteren;
10. intrinsiek gemotiveerd is om vanuit zijn schoolleiderspositie, met een vaksectie exacte vakken of een vakoverstijgend team mee te denken over verbeteringen van voorwaarden en voorzieningen, die het realiseren van plannen en suggesties van het team kunnen ondersteunen;
11. beseft dat passend onderzoek een belangrijke bijdrage kan geven aan verbetering van de ondersteuning van vorming;
12. daarbij ook beseft dat de concentratie op vorming een onderzoeksbenadering vereist waarbij:
 - + de onderzoekers zich verenigen in een team, waarvan de leden gemotiveerd en in staat zijn om binnen het 'onderzoeks-spel' alle andere doelen en belangen, buiten de vorming van leerlingen, buiten beschouwing te laten om zich zodoende op de ontwikkeling van één vorm van doelgerelateerde kennis te concentreren;
 - + de onderzoekers in staat zijn om, ter wille van het onderzoek naar vorming van leerlingen, ondersteuning te transformeren naar vormen van kanalisering die methodisch onderzoek naar vorming mogelijk maken, dan wel zich te realiseren

dat onderzoeksmatige kanalisering ondersteunend moet zijn voor de modi van vorming waar hun belangstelling naar uitgaat;

- + de onderzoekers zich toeleggen op het methodisch-systematisch over en weer verbeteren van gesitueerde kennis en generieke kennis, onder erkenning van de gelijkwaardigheid van deze twee kennis-categorieën;
 - + de onderzoekers gemotiveerd en in staat zijn om hun onderzoek op transparante wijze te rapporteren en te verantwoorden, zowel onderling binnen het schoolgebonden onderzoeksteam, als uiteindelijk in een wereldwijde vormings-onderzoeks-gemeenschap;
- en daarom gemotiveerd en in staat is om zowel als mede-onderzoeker aan dergelijk onderzoek deel te nemen, als ook om dergelijk onderzoek te faciliteren en te begeleiden.
13. zich realiseert dat ook de schoolcultuur als geheel een rol speelt in het ondersteunen van vorming, en daarom openstaat voor kritiek op schoolcultuur en schoolbeleid, ook wanneer deze kritiek zijn eigen rol betreft;
 14. doordrongen is van het belang van integratie van alle teambijdragen tot een vormingsbeleid van de school als geheel; bereid en in staat is om leiding te geven aan die integratie; en in staat is een belangrijke bijdrage te geven aan de procesmatige en inhoudelijke kwaliteit van die integratie;
 15. intrinsiek gemotiveerd is om tegenwicht te bieden tegen verkokering en eilandvorming tussen schoolvakken, en daarom gemotiveerd en in staat is om in de school de samenwerking aan brede vorming ('Bildung') tussen de exacte vakken en andere disciplines te stimuleren en te ondersteunen;
 16. intrinsiek gemotiveerd en in staat is om leiding te geven aan de ontwikkeling van een omringende 'schoolorganisatie', vooral met betrekking tot het gebruik van vruchten van de wiskundige discipline daarbinnen, die in overeenstemming is met de principes van vorming-ondersteunend onderwijs.
 17. intrinsiek gemotiveerd en in staat is om in het schoolteam leiding te geven aan visie-ontwikkeling, op verbetering en vernieuwing van vorming-ondersteunende kwaliteit voor leerlingen, die voor de cultuurbijdrage van de exacte vakken een zingevend kader schept, en waarmee de schoolgemeenschap laat zien dat ook zij niet alleen schepsel maar ook schepper is van cultuur;
 18. intrinsiek gemotiveerd is om zodanig richting te geven aan zijn eigen vorming, dat hij de bepaling van zijn eigen zone van naaste ontwikkeling steeds op tijd afstemt op de zones van naaste ontwikkeling die hij voorziet bij de leraren en de teams die hij begeleidt (o.a. van leraren exacte vakken), en bij de ontwikkeling van de school als geheel.

1.c **Hoofdstuk 18: Opleidingen**

In deel I werden uit de centrale vraagstelling twee deelvragen afgeleid (hoofdstuk 2, einde § 1), waarvan de eerste luidde:

Welke identiteitskenmerken kunnen er aan bijdragen dat een schoolleider in zijn school goed (en beter) functioneert als pedagogisch leider, ten aanzien van het onderwijs in de exacte vakken?

Toen aan het eind van deel III deze eerste deelvraag beantwoord was, resteerde voor hoofdstuk 18 (deel IV) nog de tweede deelvraag:

Hoe kan men zich voorstellen dat het functioneren van een schoolleider als deelnemer van een opleiding, bijdraagt aan de ontwikkeling van de in antwoord op de eerste vraag gevonden identiteitskenmerken?

Hoe kan men zich voorstellen?

Antwoord 1 (hoofdstuk 18, § 1.a):

Om te beginnen moet eraan herinnerd worden dat de hier bedoelde 'identiteitskenmerken', volgens de bepalingen van dit concept in deel I, kenmerken zijn waar de betrokken persoon zelf vorm aan geeft, die hij meeneemt naar ieder activiteitssysteem waarin hij functioneert, en die vallen onder de noemer van authenticiteit. Het betreft dus kenmerken die het resultaat zijn van zijn vormingsproces.

Aan het einde van de beantwoording van de vraag naar de mogelijkheid van toetsend onderzoek werd in deel III geconcludeerd (hoofdstuk 17, § 3.c / Conclusies): *Vormings-onderzoek is ondersteuning van vorming die methodisch-systematisch mikt op hoge kwaliteit, zowel van ondersteuning als van vorming.*

De combinatie van het bovenstaande heeft als consequentie dat een opleiding voor schoolleiders, die methodisch-systematisch mikt op hoge kwaliteit van vorming in pedagogisch leiderschap, in de eerste plaats vormingsonderzoek moet ondernemen, met de vorming van haar deelnemers als voorwerp van onderzoek. Onderzoek, dat niet een 'makende' maar een nieuwsgierige, onderzoekende en kritisch-kanaliserende benadering vooronderstelt.

De lijst van 18 identiteitskenmerken zal dan niet functioneren als lijst van vooropgezette resultaten die door deelnemers behaald moeten worden, maar als heuristisch hulpmiddel (voor opleiders én voor deelnemers) om kenmerken te zoeken die deelnemers inspireren tot vormgeverschap, en die -uiteindelijk in het belang van de vorming van leerlingen- de moeite waard zijn om verder te ontwikkelen.

Om deze reden werd de bovenstaande vraagstelling later in hoofdstuk 18 verbeterd tot (zie pagina 691):

Hoe kan men zich voorstellen dat het functioneren van een schoolleider als deelnemer van een opleiding eraan bijdraagt, dat deze zelf zulke identiteitskenmerken formuleert, en zich ten doel stelt, zoals in deze studie in antwoord op de eerste vraag gevonden zijn?

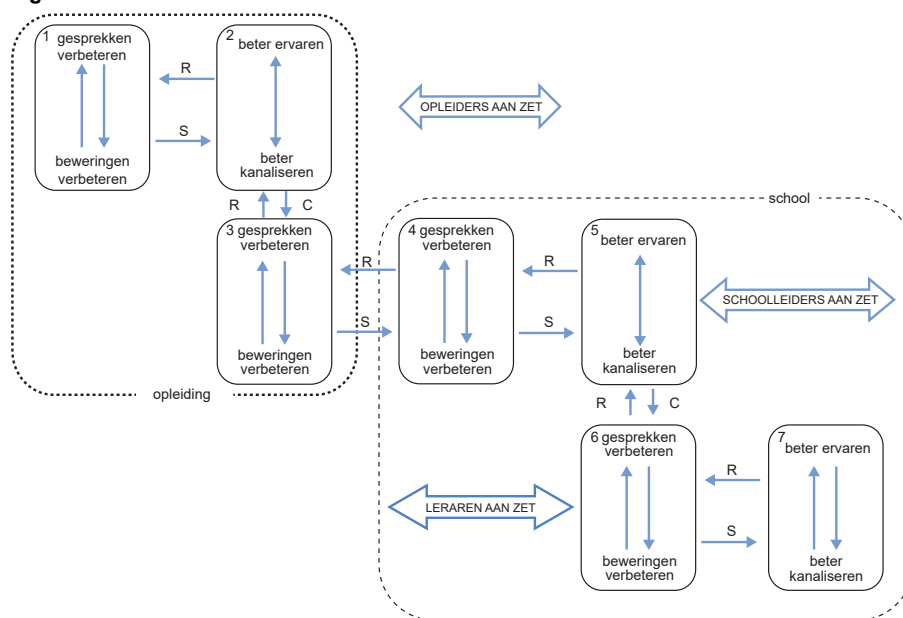
Antwoord 2 (hoofdstuk 18, § 1.b), eerste ontwerp van geschakeld onderzoek:

Vervolgens werd in hoofdstuk 18 een eerste ontwerp van dergelijk onderzoek uitgewerkt. Volgens dit ontwerp heeft vormings-onderzoek een geschakelde structuur. Het

onderzoeksmatig ondersteunen van de vorming van schoolleiders heeft immers tegelijk als doel om hen te inspireren en te bekwamen tot een vergelijkbare onderzoeksmatige ondersteuning van de vorming van leraren. En die onderzoeksmatige ondersteuning heeft ook weer tegelijk als doel om de leraren te inspireren en te bekwamen tot een vergelijkbare onderzoeksmatige ondersteuning van de vorming van leerlingen.

De structuur van het eerste ontwerp van geschakeld onderzoek werd weergegeven in het schema dat hierna opnieuw in figuur 12 is weergegeven.

Figuur 12



Antwoord 3 (hoofdstuk 18, § 1.c), de bijdrage van filosoferen en overige aspecten:

Het formuleren van de 18 identiteitskenmerken was in deze studie voor een belangrijk deel gebaseerd op filosofische reflecties op de culturele erfenis, die in de vorm van exacte vakken in het onderwijscurriculum is opgenomen, en over de kansen op vorming die deze erfenis voor het onderwijs met zich meebrengt. Wanneer een opleiding zich ten doel stelt dat schoolleiders zelf zulke identiteitskenmerken formuleren en zich ten doel stellen, dan moet het zelf leren filosoferen over deze zaken een belangrijk opleidingsaspect zijn.

Men kan dit aspect vormgeven door de activiteiten van en rond het vormings-onderzoek te integreren met werkcolleges, en met trainingen in het filosoferen over vorming in onderwijs in verschillende schoolvakken. Tegelijk daarmee kan het 'vertalen' van deze opleidingsactiviteiten naar scholings-, trainings-, en ontwikkelactiviteiten in de eigen school aan de orde komen (de 'dubbele bodem'). Deze geïntegreerde aandacht voor vor-

ming in onderwijs kan uitmonden in het formuleren, door de deelnemende schoolleiders, van één of meer identiteitskenmerken die zij bij zichzelf willen versterken, uiteindelijk ter verbetering van de kansen op vorming voor de leerlingen van hun school.

Antwoord 4 (hoofdstuk 18, §§ 1.c en 1.d), overige opleidingsaspecten en -condities:

Wanneer zodoende vorming en pedagogisch leiderschap stevig op de kaart van de opleiding gezet zijn, dan zal dit doorwerken naar overige opleidingsaspecten. 'Vorming' zal ook een relevant aandachtspunt blijken bij opleidingsonderdelen die daar niet direct op gericht zijn.

Daarnaast zullen ook waardevolle vormen van ondersteuning van vorming (spontaan of met opzet) opkomen die niet onderzoeksmatig zijn vormgegeven.

Deze doorwerkingen bevorderen in omgekeerde richting dat filosoferen over vorming en vormings-onderzoek kunnen floreren als onderdelen die wezenlijk in de opleiding thuishoren.

Een belangrijke conditie voor het realiseren van pedagogisch leiderschap door schoolleiders, is de aanvulling door pedagogisch leiderschap van leraren. Aan de vervulling van deze conditie kunnen lerarenopleidingen een belangrijke bijdrage geven, wanneer zij bij leraren de ontwikkeling van pedagogisch leiderschap en bijbehorende identiteitskenmerken ondersteunen. Tevens is het van belang dat onderlinge afstemming er zorg voor draagt dat leraren en schoolleiders zich hetzelfde vormings-taalspel toe-eigenen. Om deze redenen werd paragraaf 2 van hoofdstuk 18 gewijd aan een globaal ontwerp van de wijze waarop een lerarenopleiding deze bijdrage kan geven.

Het ontwikkelen van identiteitskenmerken (door schoolleiders en leraren) is echter nog niet voldoende om te bewerkstelligen dat de betrokken personen binnen hun school een effectieve bijdrage kunnen geven. Om op het spoor te komen van aanvullende condities is recente literatuur geraadpleegd, die dit probleem benadert vanuit de activiteitstheorie van Engeström. Aan deze literatuur werden vijf belangrijke condities ontleend (hoofdstuk 18, § 1.d):

1. Het afstemmen van de 'strategische agenda's' van de betrokken activiteitssystemen.
2. Het fungeren van 'grensobjecten' tussen de systemen, waaraan vanuit verschillende systemen bijgedragen wordt, in het licht van gemeenschappelijke belangen en doelen.
3. Het wederkerige karakter van de interactie tussen de activiteits-systemen; het grensverkeer moet het karakter hebben van tweerichtingsverkeer; vernieuwende 'stekjes' moeten door grensgangers in beide richtingen overgebracht worden.
4. Het structurele karakter van grensverkeer; grensoverschrijdingen zijn niet beperkt tot individuele of incidentele gevallen, maar hebben een structureel karakter.
5. Het constructieve gebruik van tegenstellingen, spanningen, conflicten of 'grenservaringen'; deze worden optimaal gebruikt als bron voor innovatie.

Reflectie op deze condities leert dat het aaneenschakelen van opleiding en school via 'geschakeld vormings-onderzoek' er al toe leidt dat aan de condities 2, 3 en 4 tegemoet gekomen wordt.

Lerarenopleiding

Vraag:

Hoe kan men zich voorstellen dat het deelnemen aan een (initiële- of postinitiële) opleiding een zodanige invloed heeft op identiteitskenmerken van leraren exacte vakken, dat zij in hun school beter gaan functioneren als pedagogische leiders?

Antwoorden (hoofdstuk 18, § 2):

Wenselijke identiteitskenmerken van leraren exacte vakken laten zich formuleren, naar analogie van de eerder geformuleerde identiteitskenmerken van schoolleiders,

Naar analogie van het eerste ontwerp van geschakeld vormingsonderzoek voor schoolleiders, kan geschakeld vormingsonderzoek voor leraren ontwikkeld worden dat een lerarenopleiding met scholen verbindt (zie figuur 9 op pagina 704).

Ook in een lerarenopleiding kunnen de activiteiten van en rond vormings-onderzoek geïntegreerd worden met werkcolleges en trainingen in het filosoferen over vorming in onderwijs, maar dan vooral gericht op de exacte disciplines waarin deze studenten of leraren worden opgeleid (of nageschoold). Deze geïntegreerde aandacht kan ook voor de betrokken leraren uitmonden in het formuleren van één of meer identiteitskenmerken die zij bij zichzelf willen versterken ter willen van hun pedagogisch leiderschap.

In figuur 10 op pagina 708 wordt aan de hand van een schema weergegeven hoe men zich kan voorstellen dat de schakelingen van vormings-onderzoek elkaar kunnen aanvullen, wanneer zowel een opleiding voor schoolleiders als een lerarenopleiding met een school verbonden zijn.

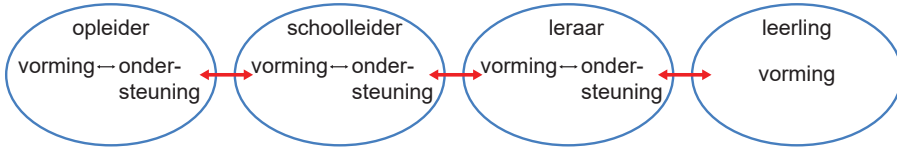
Wanneer op deze wijze zowel leraren als schoolleiders deelnemen aan het grensverkeer tussen een opleidings-instituut en een school, en dezelfde taal spreken, dan wordt de hierboven genoemde vierde conditie beter vervuld.

1.d Antwoorden op schakelprobleem, globale vraagstelling, doelstelling

Het schakelprobleem

Het conceptuele prototype van een geschakeld systeem van vormings-onderzoek impliceert een antwoord op het in deel I (hoofdstuk 2, § 4.a) geformuleerde 'schakelprobleem'. Dit probleem werd geformuleerd in de vorm van vier vragen, die opleiders van schoolleiders zichzelf kunnen stellen bij het in figuur 13 afgebeelde schema.

Figuur 13



1. *Hoe kan ik werk maken van mijn eigen vorming, zodat ik geïnspireerd en bekwaamd word om schoolleiders (beter) in hun vorming tot en als pedagogische leiders te ondersteunen?*
2. *Hoe kan ik mij voorstellen dat de ondersteuning, die onze opleiding en mijn persoonlijke interacties bieden, deze schoolleiders effectief in hun vorming tot en als pedagogische leiders ondersteunt; en hoe kan ik mij voorstellen dat de effectiviteit van deze ondersteuning getoetst en verbeterd wordt?*
3. *Hoe kan ik mij voorstellen, dat ik erop vertrouwen kan dat de door onze opleiding ondersteunde schoolleiders effectief de leraren in hun vorming tot en als pedagogische leiders ondersteunen; en hoe kan ik mij voorstellen, dat ik erop vertrouwen kan dat de effectiviteit van die laatste ondersteuning ook getoetst en verbeterd wordt?*
4. *Hoe kan ik mij tenslotte voorstellen, dat ik erop vertrouwen kan dat de aldus ondersteunde leraren de vorming van leerlingen effectief ondersteunen; en hoe kan ik mij voorstellen dat ik erop vertrouwen kan dat ook de effectiviteit van die laatste ondersteuning getoetst en verbeterd wordt?*

Antwoorden (hoofdstuk 18, § 1.b / *Antwoorden op het schakelprobleem*):

1. Met behulp van onderling vormings-zelfonderzoek kunnen wij als opleiders elkaars vormings-biografieën bewust maken, uitwisselen en onderzoeken. Ter ondersteuning daarvan kunnen wij ons met behulp van studie en training concepten en taal toe-eigenen die helpen om duidelijker en preciezer over vorming te denken en te spreken, en zodoende vorming ook beter te ervaren.

Vervolgens kunnen wij ons concentreren op (elkaars ervaringen met) het ondersteunen van anderen in hun vorming, met name in het onderwijs, en in relatie tot de vakken waarin onderwezen wordt.

2. Met behulp van het uitvoeren van vormings-onderzoek, en van begeleidende taal- en conceptverwerving (zoals wij dat onderling ontwikkeld en geoefend hebben) kunnen wij op onze beurt als opleiders de schoolleiders ondersteunen in hun vorming tot en als pedagogische leiders.

Omdat een belangrijk deel van onze ondersteuning in een onderzoeksmatige vorm gegoten is, wordt de effectiviteit daarvan steeds getoetst, en kan zij op grond daarvan methodisch-systematisch verbeterd worden.

3. Wanneer het ons gelukt is om zodoende schoolleiders effectief te ondersteunen in hun vorming tot en als pedagogische leiders, dan kunnen wij erop vertrouwen dat zij vergelijkbare ondersteuning ook aan hun leraren toewensen. Daarnaast is het onze taak als opleiding om te bevorderen dat de schoolleiders zich de bekwaamheden

verwerven die zij nodig hebben, om in hun school leiding te geven aan aangepaste herhalingen voor leraren, van de ondersteuning die zij in de opleiding zelf onderzonden hebben.

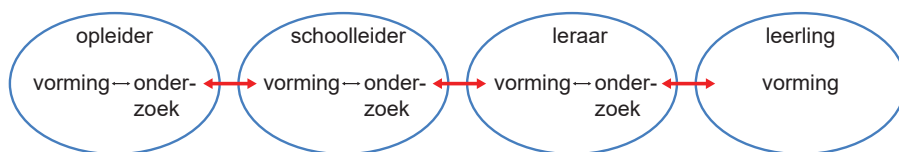
Omdat ook een belangrijk deel van hun ondersteuning van leraren in een onderzoeksmatige vorm gegoten zal zijn, wordt de effectiviteit daarvan steeds getoetst, en kan zij op grond daarvan methodisch-systematisch verbeterd worden.

4. Wanneer het de schoolleiders lukt om zodoende hun leraren effectief te ondersteunen in hun vorming tot en als pedagogische leiders, dan kunnen wij erop vertrouwen dat deze leraren vergelijkbare ondersteuning ook aan hun leerlingen gunnen. Tot die ondersteuning behoort ook dat de schoolleiders bevorderen dat de leraren zich (in aanvulling op hun initiële opleiding) de bekwaamheden verwerven die zij nodig hebben om in hun onderwijs leiding te geven aan aangepaste herhalingen voor leerlingen van de ondersteuning die zij zelf ervaren hebben.

Omdat ook een belangrijk deel van hun ondersteuning van leerlingen in een onderzoeksmatige vorm gegoten zal zijn, wordt de effectiviteit daarvan steeds getoetst, en kan zij op grond daarvan methodisch-systematisch verbeterd worden.

Extra antwoord (hoofdstuk 18, § 1.b / *Antwoorden op het schakelprobleem*):

Figuur 14



De schakelingen werken ook in omgekeerde richting. De vorming van leerlingen inspireert leraren, en hun onderzoekservaringen dragen bij aan hun eigen vorming. De vorming van leraren inspireert schoolleiders, en hun onderzoekservaringen dragen bij aan hun eigen vorming. De vorming van schoolleiders inspireert opleiders, en hun onderzoekservaringen dragen bij aan hun eigen vorming.

Globale vraagstelling

Vraag (deel I, hoofdstuk 2, einde § 1):

Hoe kan men zich voorstellen, dat het functioneren van een schoolleider als deelnemer binnen een opleiding een zodanige invloed heeft op zijn identiteitskenmerken, dat hij in zijn school beter gaat functioneren als pedagogisch leider ten aanzien van het onderwijs in de exacte vakken?

Antwoord:

Men kan zich voorstellen dat een schoolleider:

- door inspirerende methodisch-systematische ondersteuning van zijn vorming tot en als pedagogisch leider te ervaren,

- en door zich via studie en training taal en concepten toe te eigenen die vorming beter bespreekbaar en beter erfahrbaar maken, met name in relatie tot de culturele disciplines waarin leerlingen via het onderwijs worden ingewijd,
- en door werk te blijven maken van zijn eigen vorming, hetgeen onder ander blijkt uit zijn motivatie en bekwaamheid om zelf identiteitskenmerken te formuleren die hij zich voor zijn vorming ten doel stelt, ten dienste van de vorming-ondersteunende kwaliteit van het onderwijs in zijn school, beter gaat functioneren als pedagogisch leider in zijn school, en daarmee ook ten aanzien van het onderwijs in de exacte vakken.

En bovendien kan men zich voorstellen dat een belangrijke voorwaarde voor het functioneren van de schoolleider als pedagogisch leider verbeterd wordt, wanneer lerarenopleidingen op vergelijkbare wijze de vorming van leraren tot en als pedagogische leiders ondersteunen, en daardoor het pedagogisch leiderschap van leraren en van de schoolleiding elkaar in de school beter kunnen aanvullen en versterken.

Doelstelling

De doelstelling luidde (deel I, hoofdstuk 1, § 2):

Het leveren van een bijdrage aan verbetering van schoolleiders-opleidingen, waarbij deze verbetering met name gericht is op de ontwikkeling van pedagogisch leiderschap bij de betrokken schoolleiders.

Conclusie:

De bijdrage die aan opleidingen voor schoolleiders is geleverd bestaat in hoofdzaak uit:

1. een uitgewerkte voorstelling van het vormings-potentieel dat inherent is aan exacte schoolvakken,
2. voorbeelden van persoonlijke 'identiteitskenmerken' die kunnen resulteren uit, en voeding kunnen geven aan, vorming in pedagogisch leiderschap,
3. een eerste ontwerp voor methodisch-systematische ondersteuning van vorming in (ped)agogisch leiderschap, in de vorm van geschakeld vormings-onderzoek.

Daarnaast leidde het onderzoek tot de conclusie:

- dat een parallelle opleiding van leraren in pedagogisch leiderschap één van de belangrijkste aanvullende condities is voor succesvolle uitoefening van pedagogisch leiderschap door schoolleiders;
- en dat ook omgekeerd een parallelle opleiding van schoolleiders één van de belangrijkste aanvullende condities is voor succesvolle uitoefening van pedagogisch leiderschap door leraren;
- en dat de bijdrage, die voor een opleiding van schoolleiders geformuleerd is, mutatis mutandis evenzeer ten goede kan komen aan opleidingen van leraren exacte vakken die zich richten op pedagogisch leiderschap.

2 DISCUSSIE

De resultaten van dit onderzoek staan ter discussie omdat zij samenhangen met keuzes voor uitgangspunten en methode, met noodzakelijk inperkingen, en met de gegeven specifieke 'context of discovery'.

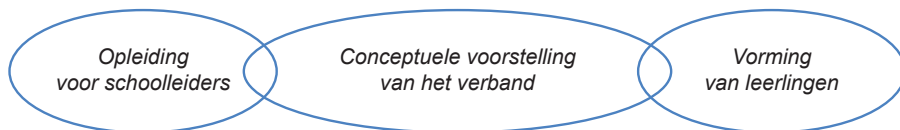
In omgekeerde richting kunnen ook gekozen uitgangspunten, en keuzes die inherent waren aan de methode, ter discussie gesteld worden in het licht van de resultaten.

Daarom zullen in deze paragraaf eerst de resultaten, en vervolgens enkele uitgangspunten, ter discussie gesteld worden.

2.a Resultaten

Keuze voor verkennend en ontwerpgericht onderzoek

Figuur 15



De aan het begin gekozen werkhypothese (hoofdstuk 1, § 3), die kort gezegd inhield dat er verband bestaat tussen opleiding voor schoolleiders en vorming van leerlingen, leidde tot de keuze voor onderzoek met een verkennend en ontwerpgericht karakter (hoofdstuk 1, § 4). Het onderzoek dat het gevolg was van deze keuze kreeg de vorm van een betoog dat het karakter heeft van een lange keten van interpretaties en vermoedens. In de loop van de constructie van die keten, ofwel in de loop van het verkennend zoeken van wegen, werden bij elke kruising -weloverwogen, of omdat er nu eenmaal gekozen moest worden- sommige wegen wel, en andere niet genomen ('roads not taken'⁴⁴). De uitkomst is *een* weg van begin- naar eindpunt die, zoals aangekondigd in de betrokken paragraaf, het karakter heeft van een *prototype*. Dat impliceert dat de gevonden route van begin- naar eindpunt niet de pretentie heeft om de beste of de kortste route te zijn, maar alleen om *een* vermoedelijke route te zijn. Deze route staat dus zowel ter discussie omdat veel aspecten van de gevolgde interpretaties en vermoedens vatbaar zijn voor toetsend onderzoek, en waarschijnlijk onder invloed van dergelijk onderzoek bijgesteld zullen worden, maar ook omdat nieuwe verkenningen ertoe kunnen leiden dat andere en betere wegen gevonden zullen worden.

⁴⁴ Zie *The road not taken* van Robert Frost, op het titelblad van hoofdstuk 1.

Inperkingen en beperkingen

Een ander deel van de betrekkelijkheden van de resultaten hangt samen met de in deel I (hoofdstuk 1, § 5) genoemde inperkingen en beperkingen.

Het verkennende onderzoek heeft een accent gelegd op de *inhoud* van schoolvakken, en de te onderzoeken schoolvakken beperkt tot exacte vakken. Deze accentkeuze en inperking is ongetwijfeld van invloed op de gevonden resultaten. Het ligt voor de hand dat een onderzoek met een accent op vakoverstijgende aspecten van vorming, of op onderwijs in schoolvakken zoals talen, geschiedenis, expressievakken, burgerschap of levensbeschouwing tot andere resultaten zal leiden, en mogelijk ook tot correcties van huidige resultaten. Het is bijvoorbeeld mijn hoop dat de onderscheiding in drie dimensies van vorming (deel III, hoofdstuk 15, § 2) standhoudt bij andere accenten en bij verkenningen van andere schoolvakken of van andere onderwijs-aspecten. Het moet echter nog afgewacht worden of die onderscheiding dergelijke testen kan doorstaan.

Daarnaast kan blijken dat de gevonden resultaten deels afhankelijk zijn van de beperkte expertise van de onderzoeker. Zoals eerder aangegeven ligt die expertise vooral op het gebied van voortgezet onderwijs, en qua schoolvakken vooral bij exacte vakken, filosofie, en levensbeschouwing. Daarnaast is de opgedane expertise met betrekking tot schoolleiderschap, schoolontwikkeling, het opleiden van leraren en het opleiden van schoolleiders, hoe dan ook van beperkte aard. Om die reden werd, op allerlei plaatsen in het betoog, de 'context of discovery' niet verborgen gehouden. De resultaten van het onderzoek kunnen afhankelijkheden van die context bevatten, en om die reden staan zij ter discussie.

Positiekeuzes

Tenslotte moeten de betrekkelijkheden genoemd worden die samenhangen met de bewust gemaakte (positie)keuzes, die in deel I (hoofdstuk 3) gepresenteerd werden. Deze keuzes hebben betrekking op:

- de levensbeschouwelijke keuze voor een communitarisch-dialogische positie,
- de keuze voor een pedagogie die zich, in het verlengde van deze positie, zowel aansluit bij de 'cultuur-historische school', als bij de dialogische opvatting dat zingeving zowel 'van binnenuit' als 'van buitenaf' komt, en dat opvoeders daarom de opdracht hebben om jonge mensen te ondersteunen om hun eigen zingevende (c.q. inspirende) ervaringen serieus te nemen en daarvan te leren,
- de met het vorige samenhangende keuze voor een wetenschapsfilosofie die reductionisme en dualistische boedelscheidingen vermijdt,
- de keuze om de recente ontwikkelingen in de biologie serieus te nemen, die noodzaken tot het opnieuw doordenken van traditionele wijzen waarop mens-zijn van andere levensvormen werd onderscheiden en afgebakend.

Dergelijke positiekeuzes leiden tot resultaten die verschillen van de resultaten die bij andere keuzes bereikt worden. Discussies, die berusten op verschillen in fundamentele positiekeuzes leiden in het algemeen niet tot overeenstemming. Maar, deze discussies

dwingen wel tot verantwoording, die dient om helder te maken dat consequenties berusten op fundamentele keuzes, en niet op onjuiste informatie of misinterpretatie. De verkenningen in de delen II en III zijn daarom ondernomen met de grondigheid die nodig leek om aan deze plicht tot verantwoording te voldoen. Deze grondigheid was uiteraard niet onfeilbaar, aan de mate ervan moesten concessies gedaan worden, en bovendien leiden ontwikkelingen in exacte disciplines voortdurend tot nieuwe resultaten die 'te denken geven'. Daarom zijn discussies die ertoe dwingen om deze verantwoording beter of hernieuwd 'op scherp te stellen' van harte welkom.

2.b Uitgangspunten

Onderzoek kan resultaten opleveren die onvoorzien waren, omdat -achteraf gezien- de uitgangspunten, van waaruit het onderzoek ontworpen werd, een vooroordeel of 'mentaal model' belichamen dat het zicht beperkt. Daarom kunnen onderzoeksresultaten ertoe leiden dat ook uitgangspunten ter discussie gesteld moeten worden.

Ook de uitkomsten van deze studie geven aanleiding om de uitgangspunten ter discussie te stellen in het licht van de resultaten. Daarbij zal ik beginnen bij uitgangspunten die naar eigen inzicht - achteraf gezien- een discutabel mentaal model belichamen dat voor correctie vatbaar is.

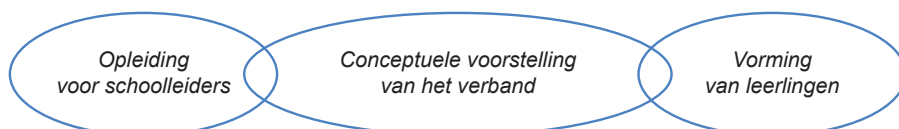
Discutabel impliciet mentaal model

Achteraf zie ik in de werkhypothese, die in deel I (hoofdstuk 1, § 3) geformuleerd werd, en in het betoog dat direct daarop volgde in § 4, een impliciet mentaal model van kennis en onderzoek. De werkhypothese luidde:

1. *Het is mijn aanname dat er verband bestaat tussen enerzijds de ondersteuning die het schoolleven biedt bij de vorming van leerlingen, en anderzijds kenmerken van het leiderschap van de schoolleiding.*
2. *Het is ook mijn aanname dat opleidingen voor schoolleiders met de kennis van dit verband hun voordeel kunnen doen.*

Het impliciete mentale model kan toegelicht worden aan de hand van het schema dat dit betoog begeleidde:

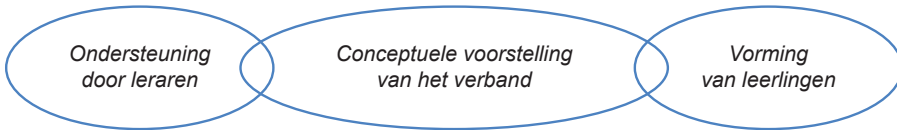
Figuur 16



De redenering die deze figuur begeleidde komt erop neer dat eerst een conceptueel vermoeden van het verband geformuleerd moet worden, welk vermoeden vervolgens met behulp van onderzoek getoetst en verbeterd kan worden, zodat tenslotte beproefde

kennis van dit verband aan gebruikers in handen gegeven kan worden zodat zij 'er hun voordeel mee kunnen doen'. Een volgende stap in de redenering houdt in dat het verband tussen een opleiding voor schoolleiders en de vorming van leerlingen gezien kan worden als een keten die uit verschillende schakels van 'ondersteuning' en 'vorming' bestaat. Vervolgens kan het 'schakelprobleem' opgelost worden wanneer het 'gevolglijkhedenprobleem' binnen iedere schakel opgelost kan worden. Om dit gevolglijkhedenprobleem toe te lichten kan de schakel tussen ondersteuning door leraren, en vorming van leerlingen, voorgesteld worden naar analogie van de vorige figuur.

Figuur 17



Het 'mentale model' houdt in dat een externe onderzoeker kenmerken van ondersteuning (O), van vorming (V), en van de omgeving van O en V kan observeren, en onderzoek kan inzetten om er achter te komen hoe het verband tussen O en V in verschillende omgevingen werkt. Wanneer hij inziet hoe dit verband werkt (een getoetste voorstelling), dan kan die kennis aan gebruikers beschikbaar gesteld worden, en kunnen leraren 'daarmee hun voordeel doen'.

De verkenningen in deel III naar de mogelijkheden van onderzoek naar het verband tussen ondersteuning en vorming (hoofdstuk 17, § 3 / *Conclusies*) leidden echter tot de conclusie:

Vormings-onderzoek is niets anders dan ondersteuning van vorming die methodisch-systematisch mikt op hoge kwaliteit, zowel van ondersteuning als van vorming.

Daarin impliceert de uitdrukking 'is niets anders dan' dat ook de omkering waar moet zijn: *ondersteuning die methodisch-systematisch mikt op hoge kwaliteit is niets anders dan onderzoek.*

Deze omkering berust op het inzicht dat ondersteuning van vorming per definitie uitdrukking is van een nieuwsgierige onderzoekshouding. Een leraar die de vorming van leerlingen ondersteunt wil zich door het ontwikkelende vormgeverschap van zijn leerlingen laten verrassen, en geeft ook dienovereenkomstig vorm aan zijn ondersteuning. Daarom kan zijn ondersteunen al opgevat worden als *eliciteren*. Wanneer deze leraar zijn ondersteuning methodisch-systematisch wil verbeteren met behulp van expliciete kennisontwikkeling, dan zal hij ook methodisch-systematisch aandacht moeten geven aan *kanaliseren*, en dan ontwikkelt zijn ondersteuning zich vanzelf in de richting van vormings-onderzoek.

De aangewezen aanpak voor een externe onderzoeker, die kennisontwikkeling in dienst wil stellen van verbetering van ondersteuning en van vorming, is daarom: dat hij

de leraar ondersteunt om het onderzoek waar deze in zekere zin al aan begonnen is methodisch-systematisch aan te pakken als onderzoek. De externe onderzoeker creëert dan een essentiële conditie voor zijn eigen kennisontwikkeling, door de kennisontwikkeling bij deze leraar te ondersteunen. De externe onderzoeker stelt zichzelf door deze interventie in staat om -als betrokken buitenstaander- kennis te ontwikkelen van de samenhang tussen de 'kanaliseringen' door de leraar en de 'vorming' die deze aan het licht brengt. Kennis die bovendien voor de leraar een waardevolle aanvulling is op de kennis die hijzelf -als binnenstaander- kan ontwikkelen.

Kortom: het mentale model dat écht onderzoek het werk moet zijn van een niet-interveniërende buitenstaander gaat zowel niet op voor de leraar die zijn ondersteuning uitbouwt tot onderzoek, als voor de externe onderzoeker die de samenhang tussen 'ondersteuning' en 'vorming' onderzoekt.

De redenen voor deze andere visie op de relatie tussen kennisontwikkeling en kennisgebruik werden op pagina 724 geformuleerd, en samengevat in de conclusie dat kennis en gebruik bij doelgerelateerd onderzoek nu eenmaal niet los van elkaar staan, zoals bij toepassingsneutraal onderzoek.

Kennelijk heeft -achteraf gezien- het mentale model van toepassingsneutraal onderzoek onbewust doorgewerkt in uitgangspunten, die in deel I geformuleerd werden.

Dit blijkt eens te meer wanneer vanuit de oplossing van het schakelprobleem, zoals die in hoofdstuk 18 gepresenteerd werd⁴⁵, weer teruggezien wordt op de hierboven geciteerde werkhypothese. De oplossing is immers niet de 'tweestappen-aanpak', om eerst kennis te ontwikkelen van 'het verband in het algemeen' en om vervolgens die kennis te doen toepassen door gebruikers (i.c. opleiders), maar om eerst het gewenste verband tussen een opleiding van schoolleiders en vorming van leerlingen *tot stand te brengen*, in de vorm van een geschakeld systeem van vormings-onderzoek. Vervolgens kan dit verband steeds beter gekend worden én steeds beter gaan functioneren met behulp van ditzelfde vormings-onderzoek.

Het concept 'vorming'

Toen ik in 2011 een nieuwe versie van de inleiding tot mijn onderzoek ontwikkelde, werd ik door een collega gewezen op de publicatie van *Wat is goed onderwijs?* (Klarus & Wardekker, 2011). Daarin vond ik een mooie bijdrage van Gert Biesta (2011) waarin veel elementen mij sterk aanspraken, maar waarin ook een ander concept van 'vorming' werd bepleit, dan het concept waartoe ik zelf gekomen was. Hierdoor werd ik voor de keuze gesteld om mijn eigen concept te handhaven, of mij door Biesta's betoog te laten overreden tot een ander concept. Op dat moment besloot ik om mij bij een aantal elementen van Biesta's benadering aan te sluiten, maar ook trouw te blijven aan mijn eigen concept van 'vorming'.

⁴⁵ Zie hoofdstuk 18, § 1.b / *Antwoorden op het schakelprobleem*.

Nu mijn onderzoek (voorlopig) is voltooid, en de resultaten zijn 'geboekt', lijkt het mij goed om opnieuw te reflecteren op deze keuzen, en om de vraag te stellen of er -in het licht van de resultaten- redenen zijn om deze keuzen te herzien. Deze reflectie begint met een schets van achtergronden van het in deel I geïntroduceerde vormingsconcept.

Achtergronden

In de 60er jaren van de vorige eeuw raakte ik als leraar betrokken bij 'de beweging voor onderwijsvernieuwing van onderop'. Binnen die beweging was er vaak sprake van 'onderwijs en vorming'. Met 'onderwijs' werd grosso modo bedoeld dat scholen de taak hebben om leerlingen instrumentele kennis en vaardigheden bij te brengen, die nuttig en nodig zijn om in de maatschappij mee te kunnen doen. Het begrip 'vorming' had daarnaast betrekking op het ontwikkelen van mens- en maatschappij-opvattingen, en van algemene overtuigingen en houdingen waarmee mensen in het leven staan. Daarbij werd verschil gemaakt tussen 'negatieve vorming', ook wel aangeduid als 'indoctrinatie' (bijvoorbeeld door het 'hidden curriculum' van de school) en 'positieve vorming', in de zin van het ontwikkelen van zelfstandig-kritisch waarderings-, beoordelings- en handelingsvermogen. Met als consequentie dat gezegd kon worden: ook een school, die zich niet met vorming wil inlaten en alleen een 'leerfabriek' wil zijn, draagt toch bij aan vorming, maar dan in de negatieve zin.

Daartegenover bedoelden de leraren, die zich ervoor inzetten om in de scholen naast 'onderwijs' ook bewust aandacht aan 'vorming' te besteden, met 'vorming' de hierboven aangeduide 'positieve vorming'.

Op den duur kreeg het gebruik van de term 'vorming' in positieve zin de overhand. Waarschijnlijk mede door het groeiende inzicht dat 'gevormd worden' tot een aangepaste deelnemer aan cultuur en maatschappij niet alleen negatief gewaardeerd moet worden. De neutralere term 'socialiseren' kwam in gebruik om ook recht te doen aan de nuttige en nodige kanten van het 'gevormd worden'. 'Vorming' bleef daarnaast in gebruik om 'positieve vorming' te benoemen, in onderscheid van 'socialisering'.

In de praktijk van het onderwijs kreeg de aandacht voor 'vorming' vooral de gedaante van zulke zaken als 'mondiale vorming', 'vredesopvoeding' en 'projectonderwijs'.

In de 80er jaren raakte ik betrokken bij een opleiding voor leraren 'levensbeschouwing/godsdienst'. In die kring stond het concept 'levensbeschouwelijke vorming' centraal. Daarmee werd bedoeld dat leerlingen leren om zelf levensbeschouwelijke vragen te stellen, dat zij uit kennismaking met levensbeschouwelijke tradities leren welke verschillende antwoorden op die vragen gegeven kunnen worden, en dat zij op grond van dit alles leren om tot eigen antwoorden te komen. Met de inzet van deze opleiding, om voor deze gedaante van vorming een plaats in de school te verwerven, kon ik mij geheel verenigen.

In de 80er jaren maakte ik ook kennis met het gedachtegoed van Lea Dasberg, die zoals in deel I (hoofdstuk 1, § 3) al beschreven werd, de termen 'opvoeden' en 'pedagogie' betreft op 'vorming', en die bovendien de term 'pedagogisch leiderschap' introduceerde, in de betekenis die daaraan ook in deze studie gegeven wordt.

Tenslotte moet genoemd worden dat ik samen met Jan Telleman in de 90er jaren leiding mocht geven aan het project 'Scholen voor 2000'⁴⁶, en dat wij ten behoeve van dit project de benadering van 'vorming' ontwikkelden, die ook in deze studie gevolgd wordt: om in onderscheid van 'gevormd worden' het concept 'vorming' te gebruiken voor het leren om 'vorm te *geven*' vanuit geïnspireerde oorspronkelijkheid.

Biesta's benadering

Het benoemen van drie gebieden waarin onderwijs taken te vervullen en doelen te bereiken heeft is, wat mij betreft, één van de grote verdiensten van Biesta. In 2011 definieert hij deze drie gebieden als *kwalificatie*, *socialisatie* en *persoonsvorming*⁴⁷. Bij deze benadering heb ik mij graag aangesloten, vooral omdat 'vorming' hiermee niet langer als taakgebied *naast* 'onderwijs' gepositioneerd wordt, maar als taakgebied *binnen* onderwijs.

Ook met Biesta's karakterisering van 'persoonsvorming' als 'ontwikkeling van 'zelfstandigheid' kan ik instemmen.

In vervolg daarop behandelt Biesta de vraag hoe het onderscheid helder gehouden kan worden tussen dit 'derde gebied' en het 'tweede gebied' (socialisatie). Ook hierin ga ik graag mee omdat, zoals uit de hiervoor geschetste achtergronden blijkt, het er bij het concept 'vorming' altijd om ging, om een aspect van de ontwikkeling van (jonge) mensen te benoemen dat *niet* met socialiseren samenvalt. Biesta's antwoord op deze vraag bevat drie elementen:

1. De concepten van 'mondigheid' en 'autonomie', zoals die aan de traditie van de Verlichting ontleend zijn, zijn niet erg geschikt om de zelfstandigheid die met (persoons)vorming beoogd wordt te karakteriseren. Het belangrijkste argument daarvoor is de nauwe koppeling van deze zelfstandigheid aan 'redelijkheid'. Het is immers een typisch westers-moderne opvatting om deze koppeling te maken. Het bevorderen bij jonge mensen van zelfstandigheid die vooral 'redelijk' moet zijn, komt daardoor toch grotendeels neer op socialisatie in de westerse cultuur. Een socialisatie die bovendien van vraagtekens voorzien kan worden sinds die westerse cultuur heeft laten zien dat rationaliteit ook kan leiden tot perfectionering van het Kwaad.

⁴⁶ Een 'experiment Educatieve Faculteit' van Besturenraad PCO, CPS, Chr. Hogeschool Windesheim, Chr. Hogeschool Noord-Nederland, Hogeschool Holland en Vrije Universiteit.

⁴⁷ Dit 'derde gebied' wordt in latere publicaties ook aangeduid als 'subjectificatie' (2010) of 'subjectwording' (2012).

2. Vervolgens sluit Biesta in positieve zin aan bij Arendt's opvatting van subjectiviteit als 'nataliteit' (als oorsprong van nieuwe bijdragen) en als 'onderworpenheid' aan effecten van daden van anderen. Als consequentie van die opvatting heeft een opvoeder een dubbele verantwoordelijkheid: ieder kind ondersteunen om het nieuwe te ontwikkelen dat tot de unieke mogelijkheden van dit kind behoort, én de politieke verantwoordelijkheid voor een wereld die de komst van dit nieuwe toelaat (en die dus een pluralistisch karakter moet hebben).
3. In de derde plaats sluit Biesta aan bij een deel van de fenomenologie van subjectwording van Levinas, het deel dat ook in deze studie uitvoerig besproken is als het ontwikkelen van vormgeverschap door zingevende verantwoordelijkheid.

Conclusies

Het zal duidelijk zijn dat ik mij graag bij deze drie antwoorden aansluit. Een belangrijk verschil hangt echter samen met het derde antwoord. Naar mijn interpretatie is het een belangrijke consequente van de fenomenologie van Levinas dat subjectwording door verantwoordelijkheid niet kan bestaan zonder een ander niveau (of andere dimensie) van subjectwording, namelijk door genieten en spelen. Ik heb dit inzicht van Levinas altijd zeer gewaardeerd omdat ik dit niveau duidelijk herken in de opvoedingspraktijk, en voor die praktijk van wezenlijk belang acht. Dit was voor mij dan ook één van de belangrijke redenen om in deel III (hoofdstuk 15, § 2) mijn Levinas-interpretatie nog eens te toetsen aan de bronnen, en aan interpretaties door andere Levinas-kenners. Het resultaat daarvan was de bevestiging van deze interpretatie, en bovendien de ontdekking van een derde dimensie van subjectwording, door zingevende dankbaarheid.

Achteraf gezien ben ik daarom content met de handhaving van mijn concept van vorming. Het ruimere blikveld, dat de koppeling aan vormgeverschap ontsloot, maakte de ontdekking van veel kansen op vorming mogelijk, die ik over het hoofd gezien zou hebben wanneer ik mijn blik beperkt zou hebben tot subjectwording door ethische verantwoordelijkheid. Bovendien maakte dit ruimere blikveld de ontdekking van een derde dimensie van vorming mogelijk. Het benoemen van meerdere dimensies verbetert het onderscheidingsvermogen waarmee vorming herkend en ondersteund kan worden.

Daarnaast kwam de onderscheiding tussen mens-zijn als schepsel en als schepper van cultuur ook goed tegemoet aan de noodzaak om het verschil tussen socialisatie en vorming helder te houden. Mijn beschouwingen leidden weliswaar tot kritiek op de klassieke tegenoverstelling van natuur en cultuur, maar deze kritiek maakt het niet nodig om dit concept van vorming te herzien. Immers, wanneer men de 'ecologische' benadering van cultuur volgt, en het onderscheidende van menselijke cultuur ziet in het gebruik van symbolische taal, dan blijft een visie op de mens als schepsel en schepper van culturele 'taalspelen' zinvol, en blijft de school een plaats waar leerlingen via alle schoolvakken in verschillende taalspelen worden ingewijd en ingeleid.

Eerder ter discussie gesteld

De eenzijdige concentratie op verbetering van schoolleiders-opleidingen, die blijkt uit de in deel I (hoofdstuk 1, § 2) geformuleerde doelstelling voor mijn onderzoek, werd al eerder ter discussie gesteld. Zowel aan het einde van deel II⁴⁸ als aan het einde van deel III⁴⁹ werd geconstateerd dat deze doelstelling alleen goed gerealiseerd kan worden wanneer de verbetering van schoolleiders-opleidingen samengaat met corresponderende verbetering van lerarenopleidingen. Achteraf gezien berustte deze doelstelling op een overschatting van wat er met een geïsoleerde opleiding voor schoolleiders bereikt kan worden in de richting van pedagogisch leiderschap.

De oorspronkelijke formulering van tweede deelvraag voor mijn onderzoek⁵⁰ werd in hoofdstuk 18⁵¹ ter discussie gesteld en werd verbeterd tot (pagina 691):

Hoe kan men zich voorstellen dat het functioneren van een schoolleider als deelnemer van een opleiding eraan bijdraagt, dat deze zelf zulke identiteitskenmerken formuleert, en zich ten doel stelt, zoals in deze studie in antwoord op de eerste vraag gevonden zijn?

3 SUGGESTIES

Naar goed gebruik moet aan het einde van een onderzoeksverslag, zoals het huidige, de vraag gesteld worden of de resultaten ervan perspectieven bieden op zinvolle vervolgstappen, inclusief het ondernemen van vervolgonderzoek.

Gezien de doelstelling van dit onderzoek (het leveren van een bijdrage aan *verbetering* van schoolleiders-opleidingen⁵²) zal ik allereerst een 'ideaalbeeld' schetsen van een verbeter-traject dat in het verlengde ligt van de uitkomsten van het onderzoek. Gezien die uitkomsten zal dit verbeter-traject niet alleen schoolleiders-opleidingen maar ook lerarenopleidingen betreffen, en ook de wijze waarop opleidingen en scholen via onderzoek beter met elkaar verbonden kunnen worden.

Daarna zal ik ook een suggestie formuleren voor vervolgonderzoek.

3.a Een verbeter-traject

Bij de nu volgende schets van een verbeter-traject wil ik vooraf aantekenen:

- dat deze schets uiteraard het karakter heeft van een *suggestie*,

⁴⁸ Hoofdstuk 10, § 4.

⁴⁹ Hoofdstuk 17, § 4.

⁵⁰ Zie deel I, hoofdstuk 2, einde § 1.

⁵¹ § 1.c / *Filosoferen over vorming in onderwijs*.

⁵² Zie deel I, hoofdstuk 1, § 2.

- en dat dit beeld het karakter heeft van een 'ideaalbeeld', dat niet de bedoeling heeft om linea recta uitgevoerd te worden, maar om aanleiding te geven tot gesprekken en discussies die in concrete situaties tot uitvoerbare verbeteringen leiden.

Voor het welslagen van een verbeter-traject zou het goed zijn om te beginnen bij het creëren van een 'centrum' of 'platform', van waaruit acties gecoördineerd kunnen worden, waar opgedane ervaringen en kennis gedocumenteerd kunnen worden, en waar ook andere hulpbronnen ontwikkeld en/of toegankelijk gemaakt kunnen worden. Dit centrum of platform zou bijvoorbeeld '*Vorming In Onderwijs / Expertise- en Kenniscentrum*' (VIO-centrum) kunnen heten.

Vanuit dit centrum kan een 'pool'⁵³ van filosofen bijeenbracht worden die met elkaar over de benodigde expertise beschikken om het filosoferen over het vormingspotentieel van ieder schoolvak, en op verschillende onderwijsniveaus, op gang te helpen. Niet alleen op gang te helpen met filosofische kennis, maar ook met methodieken voor het filosoferen met ... (opleiders, schoolleiders, leraren en leerlingen).

Daarnaast is het van belang om een 'pool' te vormen van ervaren onderzoekers, die in staat zijn om, op verschillende niveaus in het onderwijs, vormings-onderzoek (zoals hiervoor beschreven) op gang te helpen.

Het doel van de inzet van zowel de filosofen als de onderzoekers zal vooral bestaan in het bevorderen dat hun kennis en expertise door onderwijzsmensen wordt toegeëigend, en dat zij zich deels overbodig maken.

Door deze en andere acties zou de ondersteuning voorbereid kunnen worden die nodig is voor het slagen van de volgende stappen.

Een volgende stap zou zijn om zowel op een schoolleiders- als op een lerarenopleiding een pilot-experiment te ondernemen in samenwerking met de betrokken scholen. Beide opleidingen en experimenten moeten onderling goed verbonden zijn (om de ontwikkeling van een gemeenschappelijke taal en andere afstemmingen mogelijk te maken).

Na de voorbereidingen, zoals die in hoofdstuk 18 (§ 1.b) beschreven zijn, kan de eerste fase van dit experiment voor de *schoolleiders-opleiding* neerkomen op (een variant van) het onderlinge vormings-onderzoek binnen een team van opleiders⁵⁴. Om deze fase goed uit te voeren zullen zij, afhankelijk van de expertise die in het team zelf al aanwezig is, gebruik kunnen maken van scholing, adviezen en ondersteuning door filosofen en onderzoekers uit het bovengenoemde 'VIO-centrum'.

Na de overeenkomstige voorbereidingen, die in hoofdstuk 18 (§ 2.b) beschreven zijn, kan de eerste fase van dit experiment voor de *lerarenopleiding* neerkomen op (een variant van) het onderlinge vormings-onderzoek binnen een team van opleiders, zoals

⁵³ Als gemeenschappelijke voorziening die voor scholen en opleidingen beschikbaar is.

⁵⁴ Zoals beschreven in hoofdstuk 18, § 1.b / *Taalspelverwerving en zelfonderzoek*.

dat voor een lerarenopleiding geschetst werd⁵⁵. Zoals in de bedoelde paragraaf geschetst werd, zal in de loop van dit onderzoek een accent liggen op vragen naar het inhoudelijke vormingspotentieel van het schoolvak (of de vakken) waar de betrokken opleiding leraren voor opleidt. Zowel het potentieel waar de opleiders al ervaring mee hebben, als het door hen nog niet ervaren of nog niet ontgonnen potentieel. Daarbij kunnen filosofen uit het VIO-centrum goede diensten bewijzen, en bij de onderzoeks-methodische aspecten kunnen de onderzoekers uit het VIO-centrum ingeschakeld worden.

De tweede fase van het pilot-experiment kan bestaan uit de vervolgen, zoals die in hoofdstuk 18 geschetst zijn.

Binnen de schoolleiders-opleiding kan een voorbereidend onderzoek bij deelnemers ondernomen worden⁵⁶. Opnieuw met inschakeling van filosofen en onderzoekers, waarbij de ondersteuning door externen meer het karakter kan krijgen van 'hulp op afstand'.

Binnen de lerarenopleiding kan eveneens een voorbereidend onderzoek bij deelnemers ondernomen worden⁵⁷. Eveneens, voor zover nog nodig, met inschakeling van de externe filosofen en onderzoekers.

In de derde fase van het pilot-experiment komen de opgeleide schoolleiders aan zet in hun eigen scholen.

De schoolleiders ondernemen in deze fase voorbereidend vormings-onderzoek bij leraren uit hun school (andere leraren dan de leraren die een dergelijk onderzoek al binnen de lerarenopleiding meemaken). Zo nodig kunnen zij hierbij een opleider inschakelen ter ondersteuning. Daarnaast moeten zij ook lerarenopleiders of andere externen kunnen inschakelen bij het kanaliseren van en het filosoferen over vakspecifiek vormgeverschap, waar zij zelf onvoldoende verstand van hebben. De ervaringen die zij daarbij opdoen rapporteren zij zowel aan een team van collega schoolleiders in hun eigen school als aan een onderzoeks-intervisie-team met collega-schoolleiders binnen de opleiding. In de voornoemde teams worden de binnenkomende rapportages vergeleken en ge-analyseerd, uitmondend in suggesties. Tegelijk daarmee loopt in de opleiding ook het (door opleiders uitgevoerde) vormings-onderzoek door, naar de eigen vorming van de betrokken schoolleiders⁵⁸.

In de vierde fase van het experiment komen de leraren voor het eerst aan zet en blijven uiteraard ook de schoolleiders aan zet.

⁵⁵ Zie hoofdstuk 18, § 2.b / *Taalspelverwerving en zelfonderzoek*.

⁵⁶ Zie hoofdstuk 18, § 1.b / *Vorbereidend onderzoek bij deelnemers*.

⁵⁷ Zie hoofdstuk 18, § 2.b / *Vorbereidend onderzoek bij deelnemers*.

⁵⁸ Zie hoofdstuk 18, § 1.b / *Geschakeld onderzoek tweede lijn*, inclusief de schema's.

De leraren die door de schoolleiders zijn voorbereid ondernemen nu, in enkele lessen die zij geven, vormings-onderzoek bij leerlingen⁵⁹. Zoals gesuggereerd in hoofdstuk 18 ligt het voor de hand om, indien mogelijk, te beginnen bij bestaande praktijken die tot vormings-onderzoek uitgebouwd kunnen worden. Zij rapporteren daarover aan een onderzoeks-team dat zij met collega's gevormd hebben. In dat team worden deze rapportages besproken en ge-analyseerd, en uit dat team ontvangen zij suggesties. Tegelijk daarmee wordt de eigen vorming van de leraren van het onderzoeksteam nog door een schoolleider onderzoeksmatig gevolgd.

De leraren die door de opleiding zijn voorbereid ondernemen ook vormings-onderzoek bij leerlingen⁶⁰. Zij rapporteren daarover niet alleen aan een collegiaal team binnen de school, maar ook aan een onderzoeks-intervisie-team binnen de lerarenopleiding. Uit beiden ontvangen zij feedback en suggesties. Tegelijk daarmee wordt hun eigen vorming binnen de lerarenopleiding onderzoeksmatig gevolgd.

Een school die aan een dergelijk experiment deelneemt verhoogt daarmee niet alleen haar vorming-ondersteunende kwaliteit, maar ook haar vermogen om een goed gefundeerd rijk beeld van de ontwikkeling van leerlingen te vormen, en om op grond daarvan aan leerlingen en ouders feedback van hoge kwaliteit te geven⁶¹.

Wanneer het bovenstaande is gelukt, dan is er een situatie gecreëerd waarin duidelijk is hoe de vorming-ondersteunende kwaliteiten van een schoolleiders- en een lerarenopleiding ten goede komen aan de kansen op vorming voor de leerlingen op de scholen van de opgeleide leraren en schoolleiders. En daarnaast is er een structuur gecreëerd die bevordert dat informatie en inspiratie, die bij concrete ondersteuning van vorming in lessen zijn opgedaan, doorstromen in de richting van opleidingen en daar ten goede kunnen komen aan kwaliteit.

Overigens: dit ideaalbeeld is een reactie op de doelstelling van het onderzoek, die geformuleerd werd vanuit het gezichtspunt van opleidingen en kijkend in de richting van scholen. Dit beeld sluit allerminst uit dat scholen op eigen initiatief vormings-onderzoek kunnen ondernemen om ondersteuning van hoge kwaliteit te realiseren. In tegendeel, dergelijke initiatieven moeten gewaardeerd en verwelkomd worden. Voor deze scholen en initiatieven kan het echter wel van groot belang zijn dat ook de hierboven geschetste structuur bestaat, omdat deze hulpbronnen biedt waar deze scholen gebruik van kunnen maken.

Tenslotte zij herinnerd aan de opmerking aan het begin, dat het bovenstaande ideaalbeeld bedoeld is om gesprekken en discussies op te roepen, en niet om linea recta in uitvoering genomen te worden. Wanneer opleidingen en scholen zich herkennen in de in-

⁵⁹ Zie hoofdstuk 18, § 1.b / *Geschakeld onderzoek eerste lijn*, en de daarin opgenomen schema's.

⁶⁰ Zie hoofdstuk 18, § 2.b / *Geschakeld onderzoek in de les*, en de daarin opgenomen schema's.

⁶¹ Zie deel III, hoofdstuk 17, § 3.c / *Bestaande praktijk als uitgangspunt e.v.*

zet om de kansen op vorming voor leerlingen te verbeteren, dan zullen zij in iedere concrete situatie een vorm moeten ontwikkelen die daarbij past en die voor de betrokkenen uitvoerbaar is. De concrete verbeter-trajecten die daaruit voortkomen kunnen er in de praktijk anders uitzien dan wat het bovenstaande beeld te zien geeft⁶². Het onderhouden van onderlinge contacten en uitwisselingen tussen dergelijke initiatieven is van groot belang omdat een beweging voor 'Vorming In Onderwijs' sterker komt te staan wanneer men elkaar steunt en inspireert, en er een gedeelde taal ontwikkeld wordt.

3.b Vervolgonderzoek

Naast de hierboven genoemde vormen van vormings-onderzoek, die nauw verweven zijn met concrete verbeter-trajecten, en ondernomen moeten worden door practici, is het ook wenselijk dat vormen van academisch onderzoek genoemd worden.

Zoals eerder genoemd leiden de met praktijk verweven onderzoeken ook tot generieke kennis⁶³. Generieke kennis met betrekking tot vormgeverschap, actorschap, en onderzoeks-methodologie, die voor practici van groot belang is, en die bovendien al opgedaan is op uiteenlopende gebieden, zoals sociale politiek, economie, therapie, management, en architectuur. Hoewel de academische wereld moeite heeft met het accepteren van dit familielid, is die acceptatie volgens de Zeeuw (2011) belangrijk en nodig, en ook mogelijk zonder dat de universiteit hoeft af te doen aan academische standaarden voor kwaliteit. Daarom is een pleidooi voor toename van universitair onderzoek op het gebied van vorming in onderwijs op zijn plaats. Die toename zou ook leiden tot een toename van ervaren onderzoekers die van onschatbare waarde zijn voor de ondersteuning van leraren, schoolleiders en opleiders bij hun eerste schreden op het voor hen nog onzekere pad van vormings-onderzoek.

Tenslotte noem ik voortzetting van filosofisch-academisch onderzoek naar het vormingspotentieel van andere disciplines dan wiskunde en fysische wetenschap, en van corresponderende schoolvakken. Oorspronkelijk was het mijn bedoeling om in het nu afgeronde onderzoek ook andere disciplines en schoolvakken 'mee te nemen'. Het was goed dat dit plan werd bijgesteld, maar vervolgonderzoek in die richting lijkt mij nog steeds van belang.

⁶² Een voorbeeld van een concreet project, dat vanuit verwant gedachtegoed werd ondernomen door een lerarenopleiding primair onderwijs (Hogeschool Marnix Academie, Utrecht), is het project 'Speelruimte voor dialoog en verbeelding'. Dit project was gericht op het ontwikkelen van 'creatief levensbeschouwelijk leren op de basisschool', en schakelde leraren van twee basisscholen in als mede-onderzoekers naar de vermogens van leerlingen om in reactie op overgeleverde verhalen zelf vorm te geven aan levensbeschouwelijke verhalen en andere beelden. De opbrengst van dit onderzoek werd gerapporteerd in het proefschrift van lector Bas van den Berg (2014).

⁶³ Zie deel III, hoofdstuk 17, § 3.c / 2. *Kanaliseren en toetsen / Bij vormingsonderzoek* (einde).

4 NAWOORD

Aan het begin van deze studie werden de eerste twee strofen geciteerd van een gedicht van Robert Frost. Onder verwijzing naar dit gedicht karakteriseerde ik mijn onderzoek als een verkenningstocht, waarbij veel mogelijke wegen niet bewandeld werden ("roads not taken").

Eén van de motieven die bij het kiezen van wegen een rol kan spelen, is de nieuwsgierigheid naar een weg die nog weinig bewandeld is. Bij deze studie heeft dit motief zeker een rol gespeeld. Mij zijn weinig grondige verkenningen bekend van de kansen op vorming die exacte schoolvakken inhoudelijk te bieden hebben⁶⁴. Toen ik mijn loopbaan in het onderwijs als leraar wis- en natuurkunde begon, was ik er ook zelf van overtuigd dat andere schoolvakken zoals expressievakken, godsdienst of filosofie veel sterker bijdroegen aan vorming dan mijn eigen vakken. Daarom was het voor mij inspirerend om in deze studie juist die weg te kiezen.

Het bewandelen van die weg heeft enkele bijzondere resultaten opgeleverd, waarvan ik nu met name noem:

- Het inzicht in kansen op vorming die een leraar kan bieden aan leerlingen, die deze vakken zullen blijven ervaren als benauwend keurslijf of als noodzakelijk kwaad. Bijvoorbeeld de mogelijkheden om ook deze leerlingen te inspireren door aandacht te geven aan creatieve intuïtie, die voor een groot deel niet beredeneerbaar is, en die evenzeer voor exacte wetenschappers als voor kunstenaars, technici, ondernemers, leraren, en alle andere creatieve mensen van essentieel belang is.
- Het inzicht in de kansen op vorming die een leraar in deze vakken kan bieden, door zelf te erkennen dat de exacte disciplines aanleiding kunnen geven tot hoogmoedige pretenties en tot bedrieglijke mythevorming, en door leerlingen in te wijden in het ontmythologiseren daarvan.

Om deze redenen is het passend om aan het einde van deze studie ook de laatste twee strofen van dit gedicht te citeren:

⁶⁴ Een uitzondering vormt Gert Biesta, die in *Goed onderwijs en de cultuur van het meten* (2012, pp. 33-35) noemt dat het rekenonderwijs aanknopingspunten voor morele vorming biedt, omdat rekenkundig delen in verband gebracht kan worden met 'samen delen' en met vragen over eerlijkheid en rechtvaardigheid.

...

And both that morning equally lay
In leaves no step had trodden black.
Oh, I kept the first for another day!
Yet knowing how way leads on to way,
I doubted if I should ever come back.

I shall be telling this with a sigh
Somewhere ages and ages hence:
Two roads diverged in a wood, and I-
I took the one less travelled by,
And that has made all the difference.

Bronnen

- 't Hooft, G. (2014). *De bouwstenen van de schepping*. (9 ed.). Amsterdam: Prometheus - Bert Bakker.
- Achterhuis, H. (1985, 21-12-1985). Plato heeft alles met computers te maken. *Het Parool*.
- Akkerman, S. F., & Bakker, A. (2011). Boundary Crossing and Boundary Objects. *Review of Educational Research*, 81(2), 132-169.
- Albritton, C. C., & Windley, B. F. (2014). Earth Sciences. *Britannica Online Encyclopedia*. Chicago IL: Encyclopaedia Britannica Inc. Retrieved from <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/176118/Earth-sciences>.
- Argyris, C., & Schön, D. A. (1978). *Organizational Learning: A theory of action perspective*. Reading MA: Addison-Wesley.
- Aristoteles. (1998). *Lof van de Wijsbegeerte*. (350 vr Chr org. ed.). Groningen: Historische uitgeverij.
- Arndt, A. W. (1998). Substanz; Substanz/Akzidens III. Descartes bis Kant. In J. Ritter, K. Gründner, & G. Gabriel (Eds.), *Historisches Wörterbuch der Philosophie* (Vol. 10, pp. 521-532). Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.
- Atiyah, M. F. (2015). Poem by Sir Michael Atiyah, one of the greatest mathematicians. Princeton: Robbert Dijkgraaf.
- Atkin, A. (2013). Peirce's Theory of Signs. *Stanford Encyclopedia of Philosophy*. (Summer 2013 ed.). Stanford CA: Stanford University. Retrieved from <http://plato.stanford.edu/archives/sum2013/entries/peirce-semiotics/>.
- Baarda, D. B., & de Goede, M. P. M. (2001). *Basisboek Methoden en Technieken*. (3 ed.). Groningen/Houten: Wolters-Noordhoff.
- Bakker, C. (2006a). De zin van 'Geestelijke Stromingen'; Van encyclopedie naar authentiek gesprek. In S. Miedema (Ed.), *Religie in het onderwijs; Zekerheden en onzekerheden van levensbeschouwelijke vorming*. (pp. 167-192). Zoetermeer: Meinema.
- Bakker, C. (2006b). 'Zo zie ik dat!'; Reflecterend ontwikkelen van levensbeschouwing. In J. F. Nauta & J. J. Louwe (Eds.), *Zelfonderzoek met kinderen en jongeren; Een relationele methodiek*. (pp. 119-132). Utrecht: Seminarium voor Orthopedagogiek.
- Bakker, C. (2013). *Het goede leren; Leraarschap als normatieve professie*. (H. Wassink Ed.). Utrecht: Hogeschool Utrecht Kenniscentrum Educatie.
- Bakker, C., & Wassink, H. (2015). *Leraren en het goede leren; Normatieve professionalisering in het onderwijs*. Utrecht: Hogeschool Utrecht.
- Baneke, I. (2015, Mai 27). Een klas vol Willy Wortels. *Trouw*.
- Barker-Plummer, D. (2012). Turing Machines. *Stanford Encyclopedia of Philosophy*. (Winter 2012 ed.). Stanford CA: Stanford University. Retrieved from <http://plato.stanford.edu/archives/win2012/entries/turing-machine/>.

- Bateson, G. (1970). Form, Substance and Difference. *General Semantics Bulletin*, 1970(37).
- Beth, E. W. (1954). *Verstand en Intuïtie*. Assen: van Gorcum.
- Biello, D. (2006). Fact or Fiction?: Archimedes Coined the Term "Eureka" in the Bath. *Scientific American*. Retrieved from <http://www.scientificamerican.com/article/fact-or-fiction-archimede/>
- Biesta, G. J. J. (2010). *Good education in an age of measurement: ethics, politics, democracy*. Boulder, Colo: Paradigm Publishers.
- Biesta, G. (2011). De school als toegang tot de wereld: een pedagogische kijk op goed onderwijs. In R. Klarus & W. Wardekker (Eds.), *Wat is goed onderwijs?* (pp. 15 - 34). Den Haag: Boom Lemma.
- Biesta, G. J. J. (2012). *Goed onderwijs en een cultuur van meten*. Den Haag: Boom Lemma.
- Bishop, R. C. (2009). Chaos. *Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Stanford CA: Stanford University. Retrieved from <http://plato.stanford.edu/archives/fall2009/entries/chaos/>.
- Bogen, J. (2014). Theory and Observation in Science. *Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Stanford CA: Stanford University. Retrieved from <http://plato.stanford.edu/archives/sum2014/entries/science-theory-observation/>.
- Bok, S. T. (1959). *Cybernetica* (2e ed.). Utrecht, Antwerpen: Het Spectrum.
- Bonhoeffer, D. (1964). *Verzet en overgave*. (M. A. H. Stomps, Trans.). Amsterdam: H.J. Paris.
- Bors, G., Stevens, L., van Grunsven, K., & van der Weegh, J. (2010). *De gemotiveerde leerling*. Antwerpen - Apeldoorn: Garant.
- Bostrom, N. (2014). *Superintelligence. Paths, Dangers, Strategies*. Oxford: Oxford University Press
- Brentano, F. (1924). *Psychologie vom Empirischen Standpunkt. Erster Band*. Leipzig: O. Kraus.
- Broer, H., Craats, J. v. d., & Verhulst, F. (1995). *Het einde van de voorspelbaarheid? Chaostheorie, ideeën en toepassingen*. (1 ed.). Bloemendaal / Utrecht: Aramith en Epsilon.
- Brouwer, A., van Geene, R., de Vries, C., Filemon, L., & Kneyber, R. (2016). *De staat van de leraar 2016*. Den Haag: Onderwijs coöperatie.
- Buber, M. (1966). *Ich und Du*. Köln: Jakob Hegner.
- Burggraave, R. (2009). Hospitality that Provokes Thought. In R. Burggraave (Ed.), *Proximity with the Other. A Multidimensional Ethic of Responsibility in Levinas*. Bangalore: Dhamaram Publications.
- Burggraave, R. (2015a). Hoe sterk is de kwetsbare ander? *Meerstemmig opvoeden vandaag*. (pp. 93-134). Antwerpen: Halewijn.
- Burggraave, R. (2015b). *Meerstemmig opvoeden vandaag*. Antwerpen: Halewijn.
- Buruma, M. E., & Blijd-Hoogewys, E. M. A. (2010). De ontwikkeling van Joint Attention en vroeg sociaal-communicatief gedrag. *Wetenschappelijk Tijdschrift Autisme*, 2010(2), 40-49.

- Clark, H. H., & Brennan, S. E. (1991). Grounding in communication. *Perspectives on socially shared cognition*, 13(1991), 222-233.
- Clark, P. (2009). Introduction. In B. Russell (Ed.), *ABC of Relativity. With an introduction by Peter Clark*. (eBook ed.). London, New York: Routledge. Retrieved from <http://www.amazon.com/>.
- Cole, D. (2013). The Chinese Room Argument. *Stanford Encyclopedia of Philosophy*. (Spring 2013 ed.). Stanford CA: Stanford University. Retrieved from <http://plato.stanford.edu/archives/spr2013/entries/chinese-room/>.
- Copeland, B. J. (2009). The Church-Turing Thesis. *Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Spring 2009 ed.). Stanford CA: Stanford University. Retrieved from <http://plato.stanford.edu/archives/spr2009/entries/church-turing/>.
- Copeland, B. J. (2013a). Alan M. Turing (British mathematician and logician). *Britannica Online Encyclopedia*. Chicago IL: Encyclopaedia Britannica Inc. Retrieved from <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/609739/Alan-M-Turing>.
- Copeland, B. J. (2013b). Artificial Intelligence (AI). *Britannica Online Encyclopedia*. Chicago IL: Encyclopaedia Britannica Inc. Retrieved from <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/37146/artificial-intelligence-AI/>.
- Csikszentmihalyi, M. (1998). *Creativiteit - over 'flow', schepping en ontdekking*. Amsterdam: Boom.
- Damasio, A. (2010). *Het zelf wordt zich bewust. Hersenen, bewustzijn, ik*. (M. Stoltenkamp, Trans. 2 ed.). Amsterdam: Wereldbibliotheek.
- Dasberg, L. (1993). *Meelopers en dwarsliggers*. Hoevelaken: CPS / Dagblad Trouw.
- Dasberg, L. (1996). *Menswording tussen Mode, Management en Moraal*. Amersfoort: CPS.
- Dawkins, R. (1976). *De zelfzuchtige genen*. Amsterdam/Antwerpen: Contact.
- Dawkins, R. (2006). *The God Delusion*. London: Bantam Press.
- de Bekker-Ketelaars, N., Miedema, S., & Wardekker, W. (Eds.). (2006). *Vormende lerarenopleidingen*. Amsterdam: SWP.
- de Boer, T. (1966). *De ontwikkelingsgang in het denken van Husserl*. Assen: van Gorcum.
- de Boer, T. (1976a). De wijsbegeerte van Levinas als ethische transcendentiaalfilosofie. *Tussen filosofie en profetie. De wijsbegeerte van Emmanuel Levinas*. Baarn: Ambo.
- de Boer, T. (1976b). *Tussen filosofie en profetie. De wijsbegeerte van Emmanuel Levinas*. Baarn: Ambo.
- de Boer, T. (1980). *Grondslagen van een kritische psychologie*. Baarn: Ambo.
- de Jong, J. B. (2006). *Collective Talent. A study on Improvisational Group Performance in Music*. Amsterdam: Amsterdam University Press.
- de Laplace, P.-S. (1840). *Essai philosophique sur les probabilités*. (6 ed.). Paris: Bachelier.
- de Mul, J. (2014). *Kunstmatig van nature. Onderweg naar Homo sapiens 3.0*. Rotterdam: Stichting Maand van de Filosofie en Jos de Mul.
- de Valk, G. (2002). *Persoonlijkheidstrekken en chroniciteit bij specifieke lage-rugklachten; een exploratief onderzoek*. Retrieved from <http://www.qualitas.nl/>
- de Waal, F. (2009). *Een tijd voor empathie. Wat de natuur ons leert over een betere samenleving*. Amsterdam/Antwerpen: Contact.

- de Waal, F. (2013). *De Bonobo en de tien geboden. Moraal is ouder dan de mens*. Amsterdam: Atlas Contact.
- de Zeeuw, G. (2001). Three Phases of Science: a Methodological Exploration. *Systemica*, 13, 433-460.
- de Zeeuw, G. (2010). Research to support social interventions. *Journal of Social Intervention*, 19(2), 4-24.
- de Zeeuw, G. (2011a). Improving non-observational experiences: Channeling and ordering. *Journal of Research Practice*, 7(2), 1-16.
- de Zeeuw, G. (2011b, 19 April). *Improving values*.
- Dennett, D. C. (2006). *Breaking the spell: religion as a natural phenomenon*. New York: Viking.
- Dijksterhuis, A. (2007). *Het slimme onbewuste*. Amsterdam: Bert Bakker.
- Dijksterhuis, E. J. (1975). *De mechanisering van het wereldbeeld*. (2e ed.). Amsterdam: Meulenhoff.
- DiSalle, R. (2009). Space and Time: Inertial Frames. *Stanford Encyclopedia of Philosophy*. (Winter 2009 ed.). Stanford CA: Stanford University. Retrieved from <http://plato.stanford.edu/archives/win2009/entries/spacetime-iframes/>.
- Draaisma, D. (2013). *De dromenwever*. Groningen: Historische Uitgeverij.
- Dummett, M. A. E. (2013). Gottlob Frege (German mathematician and philosopher). *Britannica Online Encyclopedia*. Chicago IL: Encyclopaedia Britannica Inc. Retrieved from <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/218763/Gottlob-Frege>.
- Duyndam, J. (2011a). De liefde van Alcestis. Over relationele weerbaarheid en hermeneutische levensbeschouwing. Utrecht: Universiteit voor Humanistiek.
- Duyndam, J. (2011b, december). Rolmodel. Hoe volg je een held en blijf je toch jezelf? *Filosofie Magazine*, 20.
- Edmonds, R. R. (1977). *Search for Effective Schools: The Identification and Analysis of City Schools that are Instructionally Effective for Poor Children*. Retrieved from Washington DC: Education Resources Information Center (ERIC).
- Einstein, A. (1982a). *Ideas and Opinions* C. Seelig (Ed.) Retrieved from <http://www.amazon.com/>
- Einstein, A. (1982b). The world as I see it. In C. Seelig (Ed.), *Ideas and Opinions* (eBook ed., pp. 7-11). New York: Three Rivers Press (or. ed. 1931).
- Eliasmith, C., Stewart, T. C., Choo, X., Bekolay, T., DeWolf, T., Tang, C., & Rasmussen, D. (2012). A Large-Scale Model of the Functioning Brain. *Science*, 338, 1202-1205.
- Elder, L., & Paul, R. (1998). The role of Socratic questioning in thinking, teaching and learning. *The Clearing House*, 71(5), 297-301.
- Encyclopaedia_Britannica. (2013). Diophantine equation (mathematics). *Britannica Online Encyclopedia*. Chicago IL: Encyclopaedia Britannica Inc. Retrieved from <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/164341/Diophantine-equation>.
- Encyclopaedia_Britannica. (2014a). Helen Keller (American author and educator) *Britannica Online Encyclopedia*. Chicago IL: Encyclopaedia Britannica Inc. Retrieved from <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/314352/Helen-Keller>.

- Encyclopaedia Britannica. (2014b). Magnetic resonance imaging (MRI). *Britannica Online Encyclopedia*. Chicago IL: Encyclopaedia Britannica Inc. Retrieved from <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/357287/magnetic-resonance-ima-ging-MRI>.
- Encyclopaedia Britannica. (2015). Pythagorean theorem. *Britannica Online Encyclopedia*. Chicago IL: Encyclopaedia Britannica Inc. Retrieved from <http://www.britannica.com/print/article/485209>.
- Enderton, H., & Stoll, R. R. (2013). Set Theory (mathematics). *Britannica Online Encyclopedia*. Chicago IL: Encyclopaedia Britannica Inc. Retrieved from <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/536159/set-theory>.
- Engels, J. (2013, February 5). Vlaamse gaai begrijpt wat zijn vrouw wil. *Trouw*.
- Engeström, Y. (2001). Expansive Learning at Work: toward an activity theoretical reconceptualization. *Journal of Education and Work*, 14(1), 133-156.
- Etzioni, A. (2013). Communitarianism (political and social philosophy). *Britannica Online Encyclopedia*. Chicago IL: Encyclopaedia Britannica Inc. Retrieved from <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/1366457/communitarianism>.
- Finkelburg, W. (1962a). *Einführung in die Atomphysik*. (7-8 ed.). Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer.
- Finkelburg, W. (1962b). Leistungen, Grenzen und philosophische Bedeutung der Quantenmechanik. *Einführung in die Atomphysik*. (pp. 217-223). Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer.
- Flipse, A. (2005). *"Hier leert de natuur ons zelf den weg". Een geschiedenis van Natuurkunde en Sterrenkunde aan de VU*. Zoetermeer: Meinema.
- Fotion, N. (2013). John Searle (American Philosopher). *Britannica Online Encyclopedia*. Chicago IL: Encyclopaedia Britannica Inc. Retrieved from <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/920145/John-Searle>.
- Fragaszy, D. M., & Perry, S. (Eds.). (2003). *The Biology of Traditions: Models and Evidence*. Cambridge University Press.
- Freiberger, P. A., & Swaine, M. R. (2013). von Neumann machine (computer science). *Britannica Online Encyclopedia*. Chicago IL: Encyclopedia Britannica Inc. Retrieved from <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/1252440/von-Neumann-machine>.
- Future of Life Institute. (2015). Autonomous Weapons: an Open Letter from AI & Robotics Researchers. Buenos Aires: 24th International Joint Conference on Artificial Intelligence.
- Gehlen, A. (1940). *Der Mensch. Seine Natur und seine Stellung in der Welt*. Berlin: Junker und Dünnhaupt.
- Gödel, K. (1962). *On Formally Undecidable Propositions Of Principia Mathematica And Related Systems*. New York: Dover Publications.
- Goldschmidt, T. (2008). *Doen alsof je doet alsof*. Amsterdam / Rotterdam: Prometheus / NRC Handelsblad.

- Graham, G. (2010). Behaviourism. *Stanford Encyclopedia of Philosophy*. (Fall 2010 ed.). Stanford CA: Stanford University. Retrieved from <http://plato.stanford.edu/archives/fall2010/entries/behaviorism/>.
- Gregersen, E. (2014). Peter Higgs (British Physicist). *Britannica online Encyclopedia*. Chicago IL: Encyclopaedia Britannica Inc. Retrieved from <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/265081/Peter-Higgs>.
- Groen, P., Kersten, A., & de Zeeuw, G. (1980). *Beter sociaal veranderen. Een onderzoeksaanpak*. Muiderberg: Coutinho.
- Guwy, F. (2008). *De ander in ons, Emmanuel Levinas in gesprek: een inleiding in zijn denken*. Amsterdam: SUN / Boom.
- Haahr, M. (2014). Introduction to Randomness and Random Numbers. *Random.org*. Retrieved from <http://www.random.org/randomness/>
- Heidegger, M. (1927). *Sein und Zeit*. Tübingen: Max Niemeyer Verlag.
- Heidegger, M. (1998). *Zijn en tijd*. (M. Wildschut, Trans.). Nijmegen: SUN.
- Hendriks, A. J. J. (1997). *The Construction of the Five-Factor Personality Inventory*. Groningen: Universiteit van Groningen.
- Hendriks, A. J. J., Hofstee, W. K. B., & de Raad, B. (1999). *Handleiding bij de Five-Factor Personality Inventory (FFPI)*. Lisse: Swets Test Publishers.
- Hensen, B., Bernien, H., Dréau, A. E., Reiserer, A., Kalb, N., Blok, M. S., . . . Hanson, R. (2015). Experimental loophole-free violation of a Bell inequality using entangled electron spins separated by 1,3 km. *arXiv.org e-Print archive*. Retrieved from <http://arxiv.org/abs/1508.05949>
- Heyting, A. (1963). *Axiomatic projective geometry*. Groningen: Noordhoff.
- Hillerbrand, H. J. (2014). Christology. *Britannica Online Encyclopaedia*. Chicago IL: Encyclopaedia Britannica Inc. Retrieved from <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/115761/Christology>.
- Hintikka, J. J. (2013a). Principia Mathematica and its aftermath. In *History of logic*. Chicago IL: Encyclopaedia Britannica Inc. Retrieved from <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/346217/history-of-logic/284155/Principia-Mathematica-and-its-aftermath?anchor=ref535751>.
- Hintikka, J. J. (2013b). Theory of recursive functions and computability. In *History of logic*. Chicago IL: Encyclopaedia Britannica Inc. Retrieved from <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/346217/history-of-logic/284168/Theory-of-recursive-functions-and-computability?anchor=ref1052435>.
- Høeg, P. (1994). *Smilla's gevoel voor sneeuw* (G. Cruys, Trans.). Amsterdam: Meulenhoff.
- Hofstadter, D. R. (2001). Foreword to the New Edition. In E. Nagel, J. R. Newman, & D. R. Hofstadter (Eds.), *Gödel's Proof*. New York, London: New York University Press.
- Hübner, J. (2001). Ursache/Wirkung I. Antike. In J. Ritter, K. Gründner, & G. Gabriel (Eds.), *Historisches Wörterbuch der Philosophie* (Vol. 11, pp. 378-384). Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.
- Huizinga, J. (1952). *Homo ludens. Proeve eener bepaling van het spel-element der cultuur*. (4 ed.). Haarlem: Tjeenk Willink.

- Husserl, E. (2002). *Ideen zu einer reinen Phänomenologie und phänomenologischen Philosophie. Erstes Buch*. Tübingen: Max Niemeyer Verlag.
- Iemhoff, R. (2015). Intuitionism in the Philosophy of Mathematics. *Stanford Encyclopedia of Philosophy*. (Spring 2015 ed.). Stanford CA: Stanford University. Retrieved from <http://plato.stanford.edu/archives/spr2015/entries/intuitionism/>.
- Ijsseling, H. (2016). Driedimensionaal schaken in de taalles. Een case study. Retrieved from <http://hesterij.blogspot.nl/2016/01/driedimensionaal-schaken-in-de-taalles.html>
- Isaacs, W. N. (1993). Taking Flight: Dialogue, Collective Thinking, and Organizational Learning. *Organizational dynamics*, 22(2), 24-39.
- Jeanson, F. (1955). *Sartre par lui-même*. Paris: Editions du Seuil.
- Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental models*. London, New York, e.a.: Cambridge University Press.
- Kant, I. (1920). *Prolegomena*. (K. Vorländer Ed. 6 ed.). Leipzig: Felix Meiner.
- Kant, I. (1979). *Prolegomena*. (H. van de Velde & F. Montens, Trans.). Meppel, Amsterdam: Boom.
- Kant, I. (2004). *Kritiek van de zuivere rede*. (J. Veenbaas & W. Visser, Trans. J. Veenbaas & W. Visser Eds.). Amsterdam: Boom.
- Kawai, M. (1965). Newly-acquired pre-cultural behavior of the natural troop of Japanese monkeys on Koshima islet. *Primates*, 6, 1-30.
- Kawamura, S. (1959). The process of sub-culture propagation among Japanese macaques. *Primates*, 2, 43-60.
- Keij, J. (2006). *De filosofie van Emmanuel Levinas*. Kampen: Klement.
- Keizer, B. (2012a). *Waar blijft de ziel?* Rotterdam: Lemniscaat.
- Keizer, B. (2012b, 31 maart). We zijn meer dan ons brein. *Trouw*.
- Keizer, B. (2015, 09-02-2015). Filosofie, je kunt best zonder. *Trouw*.
- Keller, H. (1936). *The Story of My Life*. (1902 1st ed.). Garden City: Doubleday, Doran & Co.
- Key, A. J. M., & Lycett, S. J. (2011). Technology based evolution? A biometric test of the effects of handsizes versus tool form on efficiency in an experimental cutting task. *Journal of Archaeological Science*, 38(7), 1663-1670.
- Kirschenmann, P. P. (2001a). Reciprocity in the Uncertainty Relations. In P. P. Kirschenmann (Ed.), *Science, Nature and Ethics* (pp. 41-47). Delft: Eburon.
- Kirschenmann, P. P. (2001b). Two forms of determinism. In P. P. Kirschenmann (Ed.), *Science, Nature and Ethics* (pp. 49-73). Delft: Eburon.
- Klarus, R., & Wardekker, W. (Eds.). (2011). *Wat is goed onderwijs?* Den Haag: Boom Lemma.
- Klarus, R., & Wardekker, W. (2011). Onderwijs voor een geslaagde mens. In R. Klarus & W. Wardekker (Eds.), *Wat is goed onderwijs?* (pp. 217 - 234). Den Haag: Boom Lemma.
- KNMI. (2014). Weer, ensembleverwachtingen. [grafiek]. De Bilt: KNMI.
- Korthagen, F., & Lagerwerf, B. (2008). *Leren van binnenuit*. Soest: Nelissen.

- Kuitert, H. M. (1974). *Zonder geloofvaart niemand wel*. (1e ed.). Baarn: Ten Have.
- Kunneman, H. P. (2016). *Complexiteit*. Utrecht: Lecture at Hogeschool Utrecht / Universiteit Utrecht.
- Küpper, H.-J. (2014). Einstein Biographie. *Albert Einstein in the World Wide Web*. Retrieved from <http://www.einstein-website.de/>
- Krüger, M., Amels, J., van den Berg, C., Halin, J., Odental, L., de Pater, L., . . . Vinke, C. (2014). *Leidinggeven aan onderzoekende scholen*. Bussum: Coutinho.
- Kwant, R. C. (1968). *De wijsbegeerte van Merleau-Ponty*. (Vol. 95). Utrecht, Antwerpen: Het Spectrum.
- Legendijk, E. (2013). *Albert Einstein*. Groningen: Lecture at Rijksuniversiteit Groningen.
- Lamme, V. A. F. (2010). *De vrije wil bestaat niet*. Amsterdam: Prometheus/Bert Bakker.
- Landmann, M. (1961). *Der Mensch als Schöpfer und Geschöpf der Kultur: Geschichts- und Sozialanthropologie*. München: Reinhardt.
- Landmann, M. (1966). *Filosofische antropologie*. Utrecht / Antwerpen: Het spectrum.
- Langendorff, T. (2015). *Denken wiskundigen wel zo exact?* Amsterdam: Atheneum-Polak & Van Gennep.
- Langer, S. K. (1957). *Philosophy in a new key*. Cambridge, Massachusetts / London: Harvard University Press.
- Lemaire, T. (1976). *Over de waarde van kulturen. Een inleiding in de kultuurfilosofie* (2 ed.). Baarn: Ambo.
- Lengkeek, G. (1982). *Over de noodzaak van vredesopvoeding/vredesonderwijs*. Paper presented at the conference: Vredesopvoeding op de Werkplaats. Hoe doen we dat?, Werkplaats Kindergemeenschap Bilthoven. Retrieved from <http://www.qualitas.nl/>
- Lengkeek, G. (1985). *Het verzwegen lichaam, en de onwetendheid van de wetenschap*. Retrieved from <http://www.qualitas.nl/>
- Lengkeek, G. (1986). *Wonen in het andere en het verlangen om te Zijn*. Retrieved from <http://www.qualitas.nl/>
- Lengkeek, G. (1988). *Grondtrekken van levensbeschouwelijke vorming als hermeneutische pedagogiek*. Retrieved from <http://www.qualitas.nl/>
- Lengkeek, G. (1992). Lehrerfortbildung in Dresden - zwischen Utopie und Wirklichkeit *Lebensbildung in Europa zwischen Utopie und Wirklichkeit* (pp. 42-54): Kleine, Bielefeld. Retrieved from <http://www.qualitas.nl/>
- Lengkeek, G. (1993a). Lebenskundliche Bildung als Pädagogisches Konzept. In G. Lengkeek & R. de Wit (Eds.), *Lebenskundliche Bildung* (pp. 5-12). Berlin: Arbeitsgemeinschaft Bildung und Lebensgestaltung. Retrieved from <http://www.qualitas.nl/>
- Lengkeek, G. (1993b). *Schoolidentiteit - 2000. Waarden en normen, onderwijs en vorming*. Diemen: Adviesgroep Onderwijs Hogeschool Holland. Retrieved from <http://www.qualitas.nl/>
- Lengkeek, G. (1996). Kwaliteit is meer. *Bulletin. Tijdschrift voor christelijk onderwijs* (feb. 1996), 22-26. Retrieved from <http://www.qualitas.nl/>
- Lengkeek, G. (1998). *Op (onder)zoek naar zingevende kwaliteit*. Diemen: Hogeschool Holland. Retrieved from <http://www.qualitas.nl/>

- Lengkeek, G. (2000a). Op expeditie naar zingevende en instrumentele kwaliteit. In G. Lengkeek, W. Miedema, M. v. Schaik, & M. Stam (Eds.), *Leren en kwaliteit*. Amsterdam: Educatieve Faculteit Amsterdam. Retrieved from <http://www.qualitas.nl/>
- Lengkeek, G. (2000b). Scenario Studies als methodiek voor visie-ontwikkeling. In G. Lengkeek, W. Miedema, M. v. Schaik, & M. Stam (Eds.), *Leren en kwaliteit*. Amsterdam: Educatieve Faculteit Amsterdam. Retrieved from <http://www.qualitas.nl/>
- Lengkeek, G. (2002). Leiding geven aan innovatie als dialectische stuurkunst. *Bevlogenheid in onderwijs*. Amsterdam: Educatieve Faculteit Amsterdam. Retrieved from <http://www.qualitas.nl/>
- Lengkeek, G. (2003). Geeft kwaliteitszorg sturing aan ons, of geven wij sturing aan kwaliteitszorg? *de Qvijver, jaargang 4, nummer 4*. Retrieved from <http://www.qualitas.nl/>
- Lengkeek, G. (2004). *Aansturen op zelfsturing. Theorieboek bij Sturen in Complexiteit*. Amsterdam: Centrum voor Nascholing. Retrieved from <http://www.qualitas.nl/>
- Lengkeek, G. (2009). Leren van zingevende ervaringen. In M. Konijn, C. Mesman, & R. Schut (Eds.), *Professionals over leren en laten leren* (pp. 73-76). Amsterdam: Centrum voor Nascholing. Retrieved from <http://www.qualitas.nl/>
- Lengkeek, G., Paalman, I., Nuyten, M., & Peters, E. (1984). Waarderen en beoordelen. Projectmatig werken met een zelf gemaakt spel. *De Projectenbank*, 1984. Retrieved from <http://www.qualitas.nl/>
- Lengkeek, G., & de Wit, R. (1992). Quality in a jointly developed teacher training programme on philosophical-religious education in former east Germany. *Teacher Education 8* (pp. 117-126). de Lier: Academisch Boeken Centrum. Retrieved from <http://www.qualitas.nl/>
- Lengkeek, G., & Rozemond, T. (2004). Eigenzinnige kwaliteitszorg en het integrale van personeelsbeleid *Handboek schoolorganisatie en onderwijsmanagement* (Vol. C5140, pp. 1-24). Alphen aan den Rijn: Samson. Retrieved from <http://www.qualitas.nl/>
- Lengkeek, G., & Telleman, J. (1995). *Quality and the Art of Education*. Paper presented at the Association for Teacher Education in Europe, Oslo. Retrieved from <http://www.qualitas.nl/>
- Lengkeek, G., & Telleman, J. (Eds.). (1993). *Programma Visie-ontwikkeling 2000*. Den Haag: Experiment P.C. Educatieve Faculteiten. Retrieved from <http://www.qualitas.nl/>
- Levinas, E. (1968). *Totalité et Infini. Essai sur l'exteriorité*. (3 ed.). Den Haag: Martinus Nijhoff.
- Levinas, E. (1969). Een godsdienst van volwassenen. In A. Peperzak (Ed.), *Essays van Emmanuel Levinas. Het menselijk gelaat*. (pp. 35-49). Utrecht: Ambo.
- Levinas, E. (1978). *De l'existence a l'existant*. Paris: Librairie philosophique J. Vrin.
- Levinas, E. (1986, 9 Mei 1986) *Jij die mij aanziet*. Interviewer: F. Guwy. Hilversum: Ikon.
- Levinas, E. (1987a). *De totaliteit en het Oneindige. Essay over de exterioriteit*. (T. de Boer & C. Bremmers, Trans.). Baarn: Ambo.
- Levinas, E. (1987b) *Ethisch en oneindig*. Interviewer: P. Nemo. Kampen: Kok Agora.

- Levinas, E. (1991). *Anders dan zijn of het wezen voorbij*. (A. Kalshoven, Trans.). Baarn: Ambo.
- Lewis, H. D. (2014). Theism (religion). *Britannica Online Encyclopedia*. Chicago IL: Encyclopaedia Britannica Inc. Retrieved from <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/590421/theism>.
- Lindhout, R. (2013, January 30). Darwin op de schop. *Advalvas*, 10-14.
- Lorenz, S. (2004). Zweifel. In J. Ritter, K. Gründner, & G. Gabriel (Eds.), *Historisches Wörterbuch der Philosophie* (Vol. 12, pp. 1520-1527). Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.
- MacDuffee, C. C. (2013). Arithmetic. *Britannica Online Encyclopedia*. Chicago IL: Encyclopaedia Britannica Inc. Retrieved from <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/34730/arithmetic>.
- MacIntyre, A. (1981). *After virtue; a study in moral theory*. Notre Dame: University of Notre Dame Press.
- Malabou, C. (2011). Wij maken ons brein. In M. Hordijk (Ed.), *Filosofie Magazine* (pp. 58-62). Rotterdam: Veen Magazines.
- Marcel, G. (1960). *Zijn en hebben*. (E. Brongersma, Trans.). Utrecht: Erven J. Bijleveld.
- Maslov, A. H. (1972). *Motivatatie en persoonlijkheid*. Rotterdam: Lemniscaat.
- Meijer van Putten, B. (2006, 8-04-2006). Zinloos scherp. *NRC Handelsblad*. Retrieved from http://www.bartmeijervanputten.nl/archief2006/Myopie_scherpzien.htm
- Meijlink, K. (2012). Competent in kritisch denken. In B. van den Berg (Ed.), *Werkplan lectoraat Dynamische Identiteitsontwikkeling, periode 2012-2016*. Utrecht: Marnix Academie.
- Merleau-Ponty, M. (1964). *Le Visible et l'Invisible*. (C. Lefort Ed.). Paris: Gallimard.
- Mersch, R. (2012). *Oogklepdenken*. (eBook ed.) Antwerpen: De Bezige Bij.
- Miedema, W., & Stam, M. (2009). Leren van innoveren. In M. Konijn, C. Mesman, & R. Schut (Eds.), *Professionals over leren en laten leren* (pp. 31-36). Amsterdam: Centrum voor Nascholing.
- Morgan, G. (1986). *Images of Organization*. Newbury Park, London, New Delhi: Sage Publications.
- Muehlhauser, L. (2013). *Facing the Intelligence Explosion*. (eBook ed.). Berkeley: Machine Intelligence Institute.
- Nagel, E. (1974). *The Structure of Science. Problems in the Logic of Scientific Explanation*. (4 ed.). London: Routledge & Kegan Paul.
- Nagel, E., & Newman, J. R. (2001). *Gödel's Proof* (D. R. Hofstadter Ed. Revised ed.). New York, London: New York University Press.
- Nauta, D. (1999). De grenzen van de informatisering. In R. Welters (Ed.), *Grenzeloze selectie*. Nijmegen: Nijmegen University Press.
- Nauta, D., & Fleischhacker, L. E. (1998). Labor as communication and communication as labor. *Research in Philosophy and Technology*, 17, 59-79.
- Nellen, H. (2007). *Hugo de Groot. Een leven in strijd om de vrede*. Amsterdam: Uitgeverij Balans.

- Newton, I. (1952). *Optics* (B. Cohen ed.). New York.
- Nicolelis, M. (2011). *Beyond boundaries: the new neuroscience of connecting brains with machines - and how it will change our lives*. Times Books, Retrieved from <http://www.amazon.com/>
- Niehe, Y. (2014). TV Show (07-12-2014).
- Nishida, T. (1987). Local Traditions and Cultural Transmission. In B. B. Smuts, D. L. Cheney, R. M. Seyfarth, R. W. Wrangham, & T. T. Struhsaker (Eds.), *Primate Societies*: University of Chicago Press.
- Noë, A. (2012). *We zijn toch geen brein?* (M. Stoltenkamp, Trans.). Rotterdam: Lemniscaat.
- Noë, A. (2013). We zijn ons brein toch niet. In J. Hopster (Ed.), *Filosofie Magazine* (pp. 56-61). Diemen: Veen Magazines.
- Nonaka, I., & Takeuchi, H. (2003). *De kenniscreërende onderneming*. (3 ed.). Schiedam: Scriptum.
- Nussbaum, M. C. (1995). *Poetic justice; the literary imagination and public life*. Boston: Beacon Press.
- Odifreddi, P., & Cooper, S. B. (2012). Recursive Functions. *Stanford Encyclopedia of Philosophy*. (Fall 2012 ed.). Stanford CA: Stanford University. Retrieved from <http://plato.stanford.edu/archives/fall2012/entries/recursive-functions/>.
- Ofman, D. D. (1996). *Bezieling en kwaliteit in organisaties*. Utrecht: Servire.
- Pedoe, D. (1966). *De speelse wiskunde*. Utrecht / Antwerpen: Het Spectrum.
- Penrose, R. (1990). *De nieuwe geest van de keizer: over computers, de menselijke geest en de wetten van de natuurkunde*. (J. d. Bekker, Trans.). Amsterdam: Prometheus.
- Penrose, R. (1991). De computer zal nooit begrijpen wat hij doet. In M. Evenblij (Ed.), *de Volkskrant* (pp. 19). Amsterdam: De Persgroep Nederland.
- Perkowitz, S. (2014). Relativity (physics) *Britannica Online Encyclopedia*. Chicago IL: Encyclopaedia Britannica Inc. Retrieved from <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/496904/relativity>.
- Plato. (1966). *Sokrates in gesprek. Plato's Apologie, Krito, het slot van de Phaedo en Symposium*. (D. Loenen, Trans.). Amsterdam: Polak & van Gennep.
- Plato. (1997). *Alkibiades, Symposion*. (H. Warren & M. Molegraaf, Trans. Vol. 6). Amsterdam: Bert Bakker.
- Plato. (1998). *Faidros*. (H. Warren & M. Molegraaf, Trans. Vol. 8). Amsterdam: Bert Bakker.
- Plato. (2000). *Het bestel, Politeia*. (H. Warren & M. Molegraaf, Trans. Vol. 9). Amsterdam: Bert Bakker.
- Plato. (2003). *Protagoras, Menon*. (H. Warren & M. Molegraaf, Trans. Vol. 11). Amsterdam: Bert Bakker.
- Plessner, H. (1928). *Die Stufen des Organischen und der Mensch: Einleitung in die philosophische Anthropologie*. Berlin: De Gruyter.

- Pfaff, W., Hensen, B., Bernien, H., van Dam, S. B., Blok, M. S., Taminiau, T. H., . . . Hanson, R. (2014). Unconditional quantum teleportation between distant solid-state quantum bits. *Science*, 2014(August 1), 532-535.
- Philippa, M., Debrabandere, F., Quack, A., Schoonheim, T., & van der Sijs, N. (2014). *Ety-mologisch woordenboek van het Nederlands*. Retrieved from <http://www.etymologie.nl/>
- Piaget, J. (1926). *The Language and Thought of the Child*. (eBook ed.) New York, London: Harcourt, Brace & co; Kegan, Trench, Trubner & co.
- Pijls, M. (2012). Bètacoach. Retrieved from <http://math-boost.nl/math-boost/>
- Plessner, H. (1928). *Die Stufen des Organischen und der Mensch: Einleitung in die philoso-phische Anthropologie*. Berlin: De Gruyter.
- Poincaré, H. (1998). *Een nacht vol opwinding. Een keuze uit de filosofische essays. Met een inleiding door Ferdinand Verhulst*. (D. Eringa, Trans. D. Eringa & F. Verhulst Eds.). Utrecht: Epsilon uitgaven.
- Polanyi, M. (1973). *Personal Knowledge. Towards a Post-Critical Philosophy*. Chicago: Uni-versity of Chicago Press.
- Polanyi, M. (1983). *The tacit dimension*. Gloucester: Peter Smith.
- Popper, K. R. (2002). *Conjectures and Refutations. The Growth of Scientific Knowledge* (1963 org. ed.). London, New York: Routledge.
- Portoraro, F. (2014). Automated Reasoning. *Stanford Encyclopedia of Philosophy*. (Winter 2014 ed.). Stanford CA: Stanford University. Retrieved from <http://plato.stanford.edu/archives/win2014/entries/reasoning-automated/>.
- Roefs, E. (2010). *Inspirerende docenten. Inzichten en verhalen uit het hoger beroepsonder-wijs*. Antwerpen-Apeldoorn: Garant.
- Rogers, G. A. J. (2012). John Locke (English philosopher). *Britannica Online Encyclopedia*. Chicago IL: Encyclopaedia Britannica Inc. Retrieved from <http://www.britan-nica.com/EBchecked/topic/345753/John-Locke>.
- Rosen, R. (1991). *Life Itself: A Comprehensive Inquiry Into the Nature, Origin and Fabrica-tion of Life*. New York: Columbia University Press.
- Russell, B. (1926). Relativity, philosophical consequences of *Britannica Online Encyclope-dia*. Chicago IL: Encyclopaedia Britannica Inc. Retrieved from <http://www.britan-nica.com/bps/additionalcontent/14/117887/relativity-philosophical-consequen-ces-of>.
- Russell, B. (2000). *Geschiedenis van de westerse filosofie*. (R. Limburg & F. Vivian, Trans. 19 ed.). Utrecht/Antwerpen: Servire.
- Russell, B. (2009). *ABC of Relativity. With an introduction by Peter Clark*. (eBook ed.) Lon-don, New York: Routledge.
- Russell, B., Einstein, A., Born, M., Bridgman, P. W., Infeld, L., Joliot-Curie, F., . . . Yukawa, H. (1955). Manifesto. Rome, London, Geneva, Washington: Pugwash.org.
- Sacks, O. (2015). *Dankbaarheid* (L. Dorresteyn, Trans.). Amsterdam / Antwerpen: De Bezige Bij.

- Sandbothe, M. (1998). *Die Verzeitlichung der Zeit. Grundtendenzen der modernen Zeitdebatte in Philosophie und Wissenschaft*. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.
- Sartre, J.-P. (1938). *La nausée*. Paris: Gallimard.
- Sartre, J.-P. (1943). *L'être et le néant*. Paris: Gallimard.
- Schnabel, P., & de Hart, J. (2008). Sociale cohesie: het thema van dit Sociaal en Cultureel Rapport. In P. Schnabel, R. Bijl, & J. de Hart (Eds.), *Betrekkelijke betrokkenheid. Studies in sociale cohesie*. Den Haag: Sociaal en Cultureel Planbureau.
- Searle, J. R. (1980). Minds, brains, and programs. *The behavioral and brain sciences*, 3(3), 417-457.
- Searle, J. R. (1982). The Chinese room revisited. *The behavioral and brain sciences*, 5(2), 345-348.
- Singh, S. (1997). *Fermat's Last Theorem*. London: Fourth Estate.
- Sitskoorn, M. (2006). *Het maakbare brein. Gebruik je hersens en word wie je wilt zijn*. Amsterdam: Bert Bakker.
- Sizoo, G. J. (1940). *Physica en werkelijkheid*. Assen: Hummelen.
- Sizoo, G. J. (1958a). Phaenomenologische Electriciteitsleer. In R. Kronig (Ed.), *Leerboek der natuurkunde*. (5e ed., pp. 189-349). Amsterdam: Scheltema & Holkema.
- Sizoo, G. J. (1958b). Relativiteitstheorie. In R. Kronig (Ed.), *Leerboek der natuurkunde*. (5e ed., pp. 339-349). Amsterdam: Scheltema & Holkema.
- SLO. (2013). Checklist 'taxonomie van Bloom'. Retrieved from http://cursuscurriculumontwerp.slo.nl/toolkit/Checklist_taxonomie_van_Bloom_docx/
- Smart, J. J. C. (2014). Materialism (philosophy). *Britannica Online Encyclopedia*. Chicago IL: Encyclopaedia Britannica Inc. Retrieved from <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/369034/materialism>.
- Smedslund, J. (2009). The Mismatch between Current Research Methods and the Nature of Psychological Phenomena: What Researchers Must Learn from Practitioners. *Theory & Psychology*, 19(6), 778-794.
- Smits, R. (2009). *Dageraad. Hoe taal de mens maakte*. Amsterdam: Nieuw Amsterdam.
- Snoek, M. (2014). *Developing Teacher Leadership and its Impact in Schools*. (PhD-thesis), Universiteit van Amsterdam, Amsterdam.
- Spencer, H. (1895). *The principles of biology*. (Vol. 2-3). New York: Appleton.
- Spillane, J. (2006). *Distributed leadership*. San Francisco: Jossey-Bass.
- Squires, G. L. (2015). Quantum mechanics (physics). *Britannica Online Encyclopedia*. Chicago IL: Encyclopaedia Britannica Inc. Retrieved from <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/486231/quantum-mechanics>.
- Stam, K., Douw, L., & de Haan, W. (2010). *Hersenweb. Wat moderne netwerktheorie ons leert over de werking van de hersenen*. Amsterdam: Bert Bakker.
- Starckx, S. (2016). Eratosthenes berekent de omtrek van de aarde. *eoswetenschap.eu*, (January 2016), 98-99. Retrieved from eoswetenschap.eu website: http://eoswetenschap.eu/sites/default/files/in_artikel/omtrek_aarde_experiment_Eratosthenes_1102.pdf

- Stark, G. (2012). Light (physics). *Britannica Online Encyclopedia*. Chicago IL: Encyclopaedia Britannica Inc. Retrieved from <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/340440/light>.
- Stevens, L. (2010). *Zin in onderwijs*. Antwerpen, Apeldoorn: Garant.
- Stevens, L., Bors, G., Andersson, A., de Boer, E., Letschert, B., van der Raadt, R., & Verbeek, K. (2013). *Pedagogische tact*. (L. Stevens & G. Bors Eds.). Antwerpen - Apeldoorn: Garant.
- Stewart, I., & Stillwell, J. C. (2012a). Analysis (mathematics). *Britannica Online Encyclopedia*. Chicago IL: Encyclopaedia Britannica Inc. Retrieved from <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/22486/analysis>.
- Stewart, I., & Stillwell, J. C. (2012b). Dynamical systems theory and chaos. *Analysis (mathematics)*. Chicago IL: Encyclopaedia Britannica Inc. Retrieved from <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/22486/analysis>.
- Struik, D. J. (2008). *Geschiedenis van de wiskunde*. (eBook ed.) Leiden: DBNL / Erven D.J. Struik.
- Sutton, C. (2014). Higgs boson (physics). *Britannica online Encyclopedia*. Chicago IL: Encyclopaedia Britannica Inc. Retrieved from <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/265088/Higgs-boson>.
- Taylor, C. (2007). *Bronnen van het zelf*. (M. Stoltenkamp, Trans.). Rotterdam: Lemniscaat.
- ten Dam, G., Veugelers, W., Wardekker, W., & Miedema, S. (Eds.). (2004). *Pedagogisch opleiden*. Amsterdam: SWP.
- Theunissen, M. (1965). *Der Andere. Studien zur Sozialontologie der Gegenwart*. Berlin: Walter de Gruyter & CO.
- Tieleman, H. J. T. (2011). Homo religiosus, homo ludens. *Religie & Samenleving*, 6(1), 148 - 168.
- Toulmin, S. (1967). *The Philosophy of Science. An Introduction*. London: Hutchingson University Library.
- Turing, A. M. (1936). On Computable Numbers, With an Application to the Entscheidungsproblem. *Proceedings of the London Mathematical Society*(s2-42), 230-265.
- Turner, R., & Eden, A. (2011). The Philosophy of Computer Science. *Stanford Encyclopedia of Philosophy* (win2011 ed.). Stanford CA: Stanford University. Retrieved from <http://plato.stanford.edu/archives/win2011/entries/computer-science/>.
- Tuttle, R. H. (2015). Human Evolution. *Britannica Online Encyclopedia*. Chicago IL: Encyclopaedia Britannica Inc. Retrieved from <http://www.britannica.com/science/human-evolution>.
- Vahl, M. (1994). Research into community operations: an exploration of C+OR and CO+R. *Cybernetics and systems*, 1, 645-651.
- Vahl, M. (2004). *Script research*. Paper presented at the CICT Seminar 9 January '04.
- van Calmthout, M. (2016, February 12, 2016). Eindelijk bewijs: de ruimte trilt, theorie Einstein klopt. *de Volkskrant*.
- van Cittert, P. H. (1958). Physische Optica. In R. Kronig (Ed.), *Leerboek der natuurkunde*. (5e ed., pp. 350-437). Amsterdam: Scheltema en Holkema.

- van Cranenburgh, B. (2000). *Pijn, vanuit een neurowetenschappelijk perspectief*. Culemborg: Elsevier gezondheidszorg.
- van den Akker, J., Branch, R. M., Gustafson, K., Nieveen, N., & Plomp, T. (1999). *Design Approaches and Tools in Education and Training*. Dordrecht / Boston / London: Kluwer Academic Publishers.
- van den Berg, B. W. (2014). *Speelruimte voor dialoog en verbeelding*. Gorinchem: Narratio.
- van der Burg, L. (1984). *Uittocht uit de illusie*. Kampen: Kok.
- van der Burg, L., van den Boom, M., van Dijk, H., Fenijn, F., Heerding, W., Holtrop-van Berge, A., . . . van der Sluis, D. (1989). *Basis 1. Levensbeschouwelijke vorming voor de onderbouw. Docenthandleiding*. Groningen: Wolters-Noordhoff.
- van der Burg, S. (2007). *In kritisch gezelschap; richtlijnen voor een contextsensitieve morele kritiek*. Vrije Universiteit, Amsterdam.
- van der Burg, S. (2008). Imagining the Future of Photoacoustic Mammography. *Science and engineering ethics*. Retrieved from <http://www.springerlink.com/content/8mm804r5h52584t7/fulltext.pdf> doi:10.1007/s
- van der Heijden, R. (2015). Quantumverstrengeling slaagt voor ultieme test. *kennislink.nl*. Retrieved from <http://www.kennislink.nl/publicaties/quantumverstrengeling-slaagt-voor-ultieme-test>
- van der Hilst, B. (2007). Integraal leiding geven aan vernieuwingen in het onderwijs. *Integraal leiding geven aan onderwijsvernieuwing*. (pp. 7-16). Tilburg: MesoConsult BV.
- van der Hilst, B. (2015). *Blauwdruk voor de emergente school*. Utrecht: Het Leren Organiseren.
- van der Leeden, P. (1958). Trillingen en golven. In R. Kronig (Ed.), *Leerboek der natuurkunde*. (5e ed., pp. 138-188). Amsterdam: Scheltema & Holkema.
- van der Wal, G. A. (2011). *Nieuwe vensters op de werkelijkheid. Contouren van een natuurfilosofie in ontwikkeling*. Zoetermeer: Klement / Pelckmans.
- van Est, R., Rerimassie, V., van Keulen, I., & Dorren, G. (2014). *Intieme technologie. De slag om ons lichaam en gedrag*. Retrieved from <http://www.rathenau.nl/>
- van Helden, A. (2012). Galileo (Italian philosopher, astronomer and mathematician). *Britannica Online Encyclopedia*. Chicago IL: Encyclopaedia Britannica Inc. Retrieved from <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/224058/Galileo>.
- van Hooff, J. A. R. A. M. (2007). Mens in uitvoering - een evolutionair perspectief. Bilthoven: Lecture at Bilthovense Kring voor Wijsbegeerte en Psychologie.
- van Joolingen, W. (2014, December 14). Waarom Wiskunde? Retrieved from <http://vanjoolingen.nl/>
- van Joolingen, W. (2016). *Modellenwerk*. Inaugurele oratie. Academieggebouw: Lecture at Universiteit Utrecht.
- van Oers, B. (2011). Doelgericht en betekenisvol leren: over de waarde van spel in de strijd tegen de verschoolsing. In R. Klarus & W. Wardekker (Eds.), *Wat is goed onderwijs?* (pp. 55 - 69). Den Haag: Boom Lemma.

- van Os, J. (2014). *De DSM-5 voorbij! Persoonlijke diagnostiek in een nieuwe ggz.* (4 ed.). Utrecht: Diagnosis.
- van Peursen, C. A. (1969). *Wetenschappen en werkelijkheid.* Kampen: Kok.
- van Peursen, C. A. (1981). *Lichaam-Ziel-Geest. Inleiding tot een wijsgerige anthropologie.* (7 ed.). Utrecht: Bijleveld.
- van Riessen, R. (1984). Spreken over wat verzwegen bleef. Subjectiviteit als gastvrijheid en plaatsvervangende in het denken van Emmanuel Levinas. *Vrijheid. Een onderzoek naar de betekenis van vrijheid voor de methodologie van de menswetenschappen.* (pp. 329-361). Amsterdam: VU Uitgeverij.
- van Riessen, R. D. N. (1991). *Erotiek en dood. Met het oog op transcendentie in de filosofie van Levinas.* Kampen: Kok Agora.
- van Riessen, R. D. N. (2007). *Man as a Place of God.* Dordrecht: Springer.
- van Riessen, R. D. N. (2013). *De ziel opnieuw. Over innerlijkheid, inspiratie & onderwijs.* Amsterdam: Sijbolet.
- van Straaten, H. (2013, August, 13). Anw is als vak op het vwo onvervangbaar. *Trouw.* Retrieved from <http://www.trouw.nl/tr/nl/5009/Archief/archief/article/detail/3491456/2013/08/13/Anw-is-als-vak-op-het-vwo-onvervangbaar.dhtml>
- van Strien, P. J. (1986). *Praktijk als Wetenschap. Methodologie van het sociaal-wetenschappelijk handelen.* Assen/Mastricht: Van Gorcum.
- van Tongeren, P. (2013). *Leven is een kunst.* (4 ed.). Zoetermeer: Klement.
- van Tongeren, P. (2015a). *Dankbaar. Denken over danken na de dood van God.* Zoetermeer: Klement.
- van Tongeren, P. (2015b). We voelen wel dankbaarheid, maar kunnen er niet in geloven. *Trouw.nl.* Retrieved from <http://www.trouw.nl/tr/nl/4464/Religie-filosofie/article/detail/4206700/2015/12/13/We-voelen-wel-dankbaarheid-maar-kunnen-er-niet-in-geloven.dhtml>
- van Wieringen, A. M. L. (1989). *Bestuur en management van onderwijsinstellingen.* Groningen: Wolters-Noordhoff.
- Vermeulen, A. (2007). Onderzoeksmatig leiding geven, een nieuwe generatie schoolleiders. *Integraal leiding geven aan onderwijsvernieuwing.* (pp. 39-50). Tilburg: Meso-Consult BV.
- Vermeulen, P. (2007). Autisme als contextblindheid. *Wetenschappelijk Tijdschrift Autisme, 2007*(3), 92-104.
- Vibert Douglas, A. (2013). Sir Arthur Stanley Eddington (British scientist). *Britannica Online Encyclopedia.* Chicago IL: Encyclopaedia Britannica Inc. Retrieved from <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/178891/Sir-Arthur-Stanley-Eddington>.
- VPRO. (2014). Het gretige brein. [NPO Television], *Tegenlicht, April 6.*
- VPRO. (2015). Damiaan Denys [Television], *VPRO Zomergasten, August 30.*
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: the development of higher psychological processes.* Cambridge MA: Harvard University Press.

- Watson, R. A. (2012). Cartesianism (philosophy). *Britannica Online Encyclopedia*. Chicago IL: Encyclopaedia Britannica Inc. Retrieved from <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/97342/Cartesianism>.
- Wegner, D. M. (2002). *The Illusion of Conscious Will*. Cambridge: MIT Press.
- Wielenga, D. (1996, 1996). *Een vormende lerarenopleiding*. Manuscript.
- Wigner, E. (1960). The Unreasonable Effectiveness of Mathematics in the Natural Sciences. *Communications in Pure and Applied Mathematics*, 13 (1).
- Wittgenstein, L. (1964). *Tractatus logico-philosophicus*. Berlin: Suhrkamp.
- Wittgenstein, L. (2001). *Philosophische Untersuchungen* (Kritisch-genetische ed.). Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Witziers, B., Bosker, R. J., & Krüger, M. L. (2003). Educational Leadership and Student Achievement: The Elusive Search for an Association. *Educational Administration Quarterly*, 39(3), 398-425.
- Zeilinger, A. (2005). *Toeval! Hoe de kwantumfysica ons wereldbeeld verandert*. Diemen: Veen Magazines.
- Zuurmond, A. (2016, February 9). Docenten, kauw leerlingen niet voor wat hip is. *Koester de canon*. *de Volkskrant*.
- Zuurmond, A., & de Jong, J. (2010). *De professionele professional*. Den Haag: Ministerie van Binnenlandse zaken en Koninkrijksrelaties. Retrieved from <http://www.zenc.nl/publicaties/2010/professionele-professional>

Samenvatting

De inspiratie voor deze studie komt uit twee verschillende bronnen. Mijn leraars-ervaringen met jonge mensen die een eigen persoonlijkheid en origineel vormgeverschap ontwikkelen vormen de ene bron; en mijn opleiders-ervaringen met toegewijde schoolleiders, die 'con amore' deze inspirerende ontwikkeling bij de leerlingen van hun scholen ondersteunen, vormen de andere bron.

Deze ervaringen motiveerden tot nadenken over de vraag, wat een opleiding voor schoolleiders eraan bij kan dragen dat de deelnemende schoolleiders zich 'persoonlijke bagage' verwerven, die hen verder helpt in hun ontwikkeling als toegewijde ondersteuners van 'vorming' bij de leerlingen op hun scholen.

TERMEN EN CONCEPTEN

Het "ontwikkelen van een eigen persoonlijkheid en origineel vormgeverschap" wordt in deze studie kortweg aangeduid als '*vorming*'. Deze betekenis van 'vorming' berust op een fundamentele opvatting van mens-zijn en cultuur, die samengevat is in: de mens als scheppsel én schepper van cultuur. 'Vorming' kan op grond daarvan omschreven worden als: *leren om geïnspireerd en creatief vorm te geven aan aspecten van maatschappij en cultuur, en daarmee ook aan het eigen leven en aan zichzelf.*

Wanneer onderwijs wordt opgevat als 'inleiding in levende cultuur' dan horen 'onderwijs' en 'vorming' bij elkaar. Onderwijs heeft dan niet alleen als doel om leerlingen in te leiden in gevestigde cultuur, zodat zij daaraan kunnen deelnemen, maar onderwijs heeft dan ook als doel om leerlingen op te voeden tot creatieve vernieuwers van cultuur. Tegen deze achtergrond wordt aangesloten bij Biesta's driedeling van onderwijsdoelen. In de termen van deze studie luidt deze driedeling: *kwalificatie, socialisatie en vorming.*

Met '*pedagogisch leiderschap*' wordt in deze studie het nemen van eenzijdige verantwoordelijkheid bedoeld, waarbij volwassenen de vorming van jongeren ondersteunen zonder een gelijke ondersteuning terug te verwachten. In het onderwijs ligt het vooral op de weg van leraren en schoolleiders om pedagogisch leiderschap in praktijk te brengen.

De hierboven genoemde 'persoonlijke bagage', die een persoon kenmerkt ongeacht de organisatie waarbinnen hij functioneert, wordt in deze studie aangeduid met de (aan systeemtheorie ontleende) term '*identiteitskenmerken*'.

INPERKINGEN

Het schoolleven kan in vele opzichten aan leerlingen kansen op vorming bieden. Deze studie beperkt zich tot de kansen die het onderwijs in de schoolvakken te bieden heeft.

Elk van die vakken representeert een aspect van cultuur, waarin leerlingen via het onderwijs worden ingeleid en ingewijd. Binnen die vakken beperkt deze studie zich verder tot de exacte vakken.

DOELSTELLING

Het leveren van een bijdrage aan verbetering van schoolleiders-opleidingen, waarbij deze verbetering met name gericht is op de ontwikkeling van pedagogisch leiderschap bij de betrokken schoolleiders.

VRAAGSTELLING

Hoe kan men zich voorstellen, dat het functioneren van een schoolleider als deelnemer binnen een opleiding een zodanige invloed heeft op zijn identiteitskenmerken, dat hij in zijn school beter gaat functioneren als pedagogisch leider ten aanzien van het onderwijs in de exacte vakken?

Deelvragen:

- a. Welke identiteitskenmerken kunnen eraan bijdragen dat een schoolleider in zijn school goed (en beter) functioneert als pedagogisch leider, ten aanzien van het onderwijs in de exacte vakken?
- b. Hoe kan men zich voorstellen dat het functioneren van een schoolleider als deelnemer van een opleiding, bijdraagt aan de ontwikkeling van de in antwoord op de eerste vraag gevonden identiteitskenmerken?

AARD VAN HET ONDERZOEK

Een belangrijk motief, om in bovenstaande vraagstellingen 'voorstellen' centraal te stellen, is de wens om toetsend onderzoek mogelijk te maken. Toetsend onderzoek kan voorzien in een kritische blik op de effectiviteit van goede bedoelingen, en kan daarom fungeren als krachtig hulpmiddel voor verbetering. Een eerste voorwaarde voor dergelijk onderzoek is duidelijkheid over de vraag wát er getoetst moet worden. Er moet eerst een conceptuele *voorstelling* bestaan van de manier waarop het één vermoedelijk met het ander in verband staat, om die voorstelling kritisch te kunnen toetsen.

Misschien zijn niet alle aspecten van het ondersteunen van vorming in toetsbare voorstellingen te vangen, maar dat ontslaat niet van de verplichting om waar mogelijk toetsbare voorstellingen (hypothesen) te vormen en onderzoeksmatig-kritische toetsing mogelijk te maken.

Het onderzoek, dat gericht is op het formuleren van voorstellingen die, waar mogelijk, tegemoet komen aan de eis van toetsbaarheid heeft een verkennend en ontwerpgericht karakter. Het onderzoek dat in het verlengde ligt van de eerste deelvraag bestaat

vooral uit *verkenningen* van de exacte disciplines als culturele praktijken; en het onderzoek in respons op de tweede deelvraag is vooral gericht op het formuleren van *ontwerp-suggesties* voor opleidingen.

PROBLEMEN

Het voornemen om te streven naar onderzoekbaarheid roept in het kader van deze studie uitdagende problemen op. De samenhang tussen 'ondersteuning' en 'vorming' roept een eerste probleem op. Omdat 'vorming' een creatief-originele respons is op 'ondersteuning', is het kenmerkend voor deze samenhang dat de opgeroepen vorming *anders* is dan de ondersteuner kan verwachten. Inzicht in deze samenhang is adequater naar mate een ondersteuner er, met behulp van dit inzicht, beter in slaagt om verrassende vormingsresponsen op te roepen.

In vergelijking met de samenhangen die bij de meeste vormen van onderzoek aan het licht gebracht worden, en die van causale aard of daarmee verwant zijn, is de situatie precies omgekeerd. Inzicht in de samenhang tussen oorzaak en gevolg is in die gevallen juist adequater naar mate een gebruiker er, met behulp van inzicht, beter in slaagt om een gevolg te bewerkstelligen dat met de verwachtingen overeenstemt.

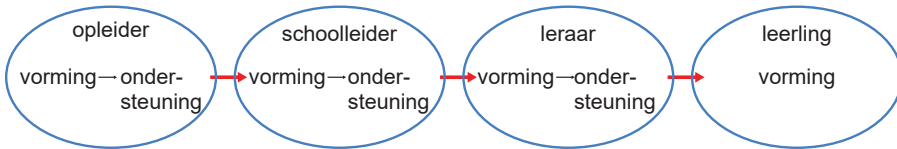
De samenhang tussen 'ondersteuning' en 'vorming' behoort dus tot een andere categorie dan de samenhangen die meestal voorwerp van onderzoek zijn. Met andere woorden: bij deze bijzondere samenhang is een andere modus van 'gevolglijkheid' aan de orde dan de meer bekende 'causaliteit'. De bijzondere aard van deze samenhang roept dringende vragen op, die beantwoord moeten worden wanneer men ook in het geval van deze gevolglijkheid wil streven naar onderzoekbaarheid. Deze vragen worden benoemd als '*gevolglijkhedenprobleem*' en als volgt geformuleerd:

- *Kan de samenhang tussen 'ondersteuning' en 'vorming' beschouwd worden als een modus van gevolglijkheid die vatbaar is voor toetsend onderzoek;*
- *kan deze modus van gevolglijkheid gepositioneerd worden te midden van andere modi van toetsbare gevolglijkheid;*
- *stelt deze modus van gevolglijkheid specifieke eisen aan de werkwijze bij toetsend onderzoek?*

Een ander probleem hangt samen met de keten van 'gevolglijkheden' tussen het opleiden van een schoolleider enerzijds, en de kansen op vorming voor leerlingen anderzijds. Op grond van welke voorstellingen kan een opleider van schoolleiders erop vertrouwen dat zijn inspanningen uiteindelijk ten goede komen aan de vorming van leerlingen? Dit probleem dringt temeer omdat een eerste analyse leert dat de schakels van de beoogde keten (de rode pijlen in figuur 18) allen het karakter hebben van 'ondersteuning' en 'vorming'. Het pedagogisch leiderschap van schoolleiders berust op vorming die opleiders kunnen ondersteunen. Het pedagogisch leiderschap van leraren berust op vorming die schoolleiders kunnen ondersteunen. De vorming van leerlingen berust op ondersteu-

ning die leraren kunnen bieden. Het bovengenoemde 'gevolglijkeidsprobleem' is inherent aan elke schakel van deze keten.

Figuur 18



Wanneer de vragen van het bovengenoemde gevolglijkeidsprobleem al beantwoord kunnen worden, dan is het nog de vraag of, en hoe, de keten van deze schakels zodanig ontworpen kan worden dat de gewenste gevolglijkeid van begin tot eind werkzaam is, en bovendien getoetst en verbeterd kan worden. Dit laatste probleem wordt benoemd als '*schakelprobleem*'.

UITVOERING EN EINDRESULTATEN

In de delen II en III van deze studie wordt het onderzoek beschreven dat gericht is op het beantwoorden van deelvraag a (zie boven).

De uitvoering daarvan moet tegelijk een oplossing bieden van het gevolglijkeidsprobleem. Hieraan wordt voldaan door exacte disciplines te contrasteren met andere leden van de 'onderzoeksfamilie'. Deze contrastering dient drie doelen: het verduidelijken van het profiel van de exacte disciplines, het verduidelijken van de gevolglijkeid die 'ondersteuning' en 'vorming' verbindt, én op het spoor komen van een modus van onderzoek die adequaat is voor deze bijzondere gevolglijkeid.

Een tweede aspect van de uitvoering is het exploreren van het vormingspotentieel van exacte disciplines, en de 'vertaling' daarvan naar onderwijs. Daarbij wordt met name rekening gehouden met de mogelijkheid dat, naast positief inspirerende ervaringen, ook negatieve ervaringen met exacte disciplines kansen op vorming kunnen bieden.

Een derde aspect is het exploreren van de wijzen waarop leraren de vorming van leerlingen kunnen ondersteunen, en schoolleiders op hun beurt de vorming van leraren kunnen ondersteunen.

Sommige ondersteunings-praktijken blijken uitgebouwd te kunnen worden tot onderzoek. Het exemplarisch ontwerpen van dergelijk 'vormings-onderzoek' stelt in staat tot het vinden van een antwoord op het gevolglijkeidsprobleem.

Uit het voorafgaande worden tenslotte achttien wenselijke identiteitskenmerken afgeleid, als uiteindelijk antwoord op deelvraag a. Dit antwoord geeft daarnaast aanleiding tot de conclusie, dat het pedagogisch leiderschap van leraren exacte vakken een belangrijke conditie is voor de mogelijkheden van schoolleiders om hun pedagogisch leiderschap te ontwikkelen en vruchtbaar te maken.

In deel IV wordt daarom deelvraag b (zie boven) niet alleen beantwoord voor schoolleiders, maar ook voor leraren exacte vakken. Het antwoord bestaat vooral uit het globaal en exemplarisch ontwerpen van een opleidingstraject, zowel voor een schoolleidersopleiding als voor een lerarenopleiding, met als belangrijkste ingrediënten:

- Scholing en training in filosoferen over schoolvakken, als representanten van culturele disciplines met een lange en leerzame geschiedenis, in relatie met filosoferen over inspiratie en vorming. Met als doel: het persoonlijk toe-eigenen van een gemeenschappelijke taal die helpt om scherper en met meer onderscheidingsvermogen te kunnen denken, spreken en handelen, met het oog op vorming door onderwijs.
- Scholing en training in 'geschakeld vormings-onderzoek'. Het ontwerp van dit toetsende onderzoek bestaat uit een keten van schakels die uitgevoerd worden *binnen* een opleiding, *tussen* een opleiding en scholen, en *binnen* scholen. Het doel van de schakelingen is het bieden van een oplossing voor het bovengenoemde 'schakelprobleem', zowel voor een lerarenopleiding als voor een schoolleidersopleiding.

TUSSENRESULTATEN

De verkenningen van de exacte disciplines leiden tot het identificeren van meerdere aspecten die beoefenaren inspireren, en waarmee leerlingen in het onderwijs in principe ook kennis kunnen maken. Daarmee worden meerdere kansen op vorming duidelijk die in het onderwijs (beter) benut kunnen worden.

Daarnaast kan de kennismaking met exacte disciplines ook negatieve ervaringen oproepen, die verband houden met mogelijkheden en beperkingen (zoals zelfoverschatting, teleurstellingen, specialistische verkokering, vruchteloze polemieken en dergelijke). Inzicht in deze mogelijkheden en beperkingen kan helpen om negatieve ervaringen om te zetten in inspiratie. Bijvoorbeeld door inspirerende aanvulling te zoeken en te vinden in (samenwerking met) andere disciplines. Of, door irreële mythen rond exacte disciplines te ontmythologiseren, en door reële risico's van technologische toepassingen constructief onder ogen te zien. Leraren exacte vakken kunnen pedagogisch leiderschap tonen door leerlingen te helpen om negatieve ervaringen met en rond hun vakken om te zetten in inspirerende ervaringen. Daarmee dragen zij bovendien bij aan kansen op vorming voor de leerlingen die geen of weinig affiniteit hebben met een exact vak.

Filosoferen met leerlingen over mogelijkheden en beperkingen, over inspiratie en frustratie van en rond exacte vakken, kan op-zich voor leerlingen inspirerend zijn, maar zet bovendien de besproken ervaringen en leerprocessen 'op een voetstuk', en ondersteunt die zodoende. Ook hiermee kan een leraar exacte vakken de vorming van zijn leerlingen ondersteunen.

Dit filosoferen wint aan kracht wanneer leraren van verschillende vakken dergelijke gesprekken met leerlingen voeren, en wanneer zij bovendien daarbij één taal gebruiken. Dit vooronderstelt dat de leraren ook onderling gesprekken voeren over de bijdragen

die hun vakken aan vorming bieden. En dat vooronderstelt weer dat de schoolleider gemotiveerd en bekwaam is om dergelijke gesprekken (inclusief scholing en training) in lerarenteams te stimuleren en te begeleiden.

Als bijdrage aan een taal, die zowel gebruikt kan worden voor genuanceerd filosoferen, als voor het onderscheiden van verschillende manifestaties van vorming bij onderzoek, wordt een filosofische verkenning naar het concept 'vorming' (als 'subjectwording') ondernomen. Deze verkenning resulteert in het onderscheiden van drie 'dimensies':

- leren van zingevend genieten en spelen,
- leren van zingevende verantwoordelijkheid, en
- leren van zingevende dankbaarheid.

De opvatting van vormings-onderzoek als ondersteuning die methodisch-systematisch mikt op hoge kwaliteit, leidt tenslotte tot de eindresultaten die hierboven zijn vermeld.

DISCUSSIE

Mijn verkennend en ontwerpgericht onderzoek is noodzakelijk gerelateerd aan waarden. Om daarin 'open kaart te spelen' werden vooraf (in hoofdstuk 3) de fundamentele levensbeschouwelijke, pedagogische en filosofische keuzes geëxpliciteerd die het onderzoek mede bepalen. De resultaten zijn daarom ook gerelateerd aan deze keuzes, en in die zin 'van betrekkelijke aard'.

De aanpak van het onderzoek werd daarnaast bepaald door recente ontwikkelingen in de biologie die, naar mijn (met andere auteurs gedeelde) overtuiging, noodzaken tot herziening van traditionele visies op mens-zijn, met nog niet geheel te overziene implicaties voor menswetenschap. Deze ontwikkelingen en visies staan nog volop ter discussie, en daarom ook mijn resultaten, voor zover die hierdoor bepaald zijn.

De 'voorstellingen' die het onderzoek oplevert zijn uitdrukkelijk bedoeld als aanknopingspunten voor verbeteringen met behulp van toetsend onderzoek, en met behulp van andere verkenningen. Bovendien was de 'context of discovery' uiteraard ook van beperkte aard, en zijn ook daarom aanvullingen en verbeteringen gewenst.

De resultaten van dit onderzoek zullen tenslotte pas aan hun bedoelingen beantwoorden wanneer zij gebruikers inspireren tot creatief vormgeverschap. Dat impliceert, dat zij functioneren als *suggesties* waarvan in iedere nieuwe situatie maatwerk gemaakt moet worden, en die bovendien inspireren tot originele re-constructies van andere, nieuwe of verbeterde suggesties.

Summary

Pedagogical Leadership.

Support of authorship by education in mathematics and physical science.

The inspiration for this study comes from two different sources. As a teacher, I was inspired by young people who were developing as unique individuals showing creative authorship in many respects. As a trainer of school leaders, I was inspired by the dedication of those participants who 'con amore' supported this exciting development in the students of their schools.

These experiences motivated me to think about the question, what an external in-service training for school leaders can contribute to the development of its trainees as dedicated supporters of 'authorship' in their schools.

SUPPORT OF 'AUTHORSHIP' AS DIMENSION OF EDUCATION

It's widely accepted that education should be more than mere acquisition of knowledge and skills. Many educators regard it as their responsibility to teach students also other elements of culture that they consider important like customs, attitudes, norms and values. They feel responsible for introducing students both to the broader culture of the discipline they teach and to culture and society at large. On this basis, it can be concluded that education has at least two 'dimensions'. The first dimension may be referred to as 'qualification' and the second as 'socialization'.

The conviction that good education implies even more than socialization has existed as long as there has been education. This belief is generally motivated by cultural criticism of the educators themselves. Because of this criticism they hope that new generations will continue discussing cultural self-evidence and will commit themselves to improvement and innovation of culture and society.

After the horrors of World War II, for example, such critical educators and philosophers advocated empowering youngsters to question the established western culture for the sake of improvement and innovation. According to those authors, youngsters can do so because a new 'originality' comes into the world with every new human being (e.g. Arendt, Levinas). In the Netherlands, Lea Dasberg joined these voices with her 'Pedagogy of Hope'. Recently Gert Biesta actualized this line of thinking by proposing to differentiate between three overlapping domains for the goals of education: "qualification, socialization, and subjectification".

Despite the fact that my vision of the 'third dimension of education' is largely in agreement with Biesta's conception of his 'third domain', I named it '*vorming*' in Dutch, and I'll choose here for a different expression in English. When we expand the meaning of 'authorship' to include the 'new originality' that I mentioned before, this term can be

used to denote the third dimension of education. Young people show a natural ability and joy in playful improvisations on themes and with materials that educators present to them. They are principally capable of acting as original 'authors' of all kinds of variations and alterations of cultural heritage. When educators want them to develop as contributors to meaningful improvements and innovations, they have to nurture essential learning processes concerning this 'authorship'. Therefore I translate my Dutch characterization of these learning processes as *learning to develop as inspired and creative author of aspects of society and culture, including one's own life and personality*.

Such authorship cannot be manufactured by educators; it can only be nurtured and empowered. In short, it can only be supported. Therefore, my wording of the three dimensions of education reads in English: *qualification, socialization, and support of authorship*.

PEDAGOGICAL LEADERSHIP

'Pedagogical leadership' in this study means taking one-sided responsibility, whereby educators support young people's authorship without expecting a similar support in return. Teachers and school leaders are in schools first and foremost the ones who can perform pedagogical leadership.

RESTRICTIONS

This study concentrates on the third dimension of education, and within the whole of opportunities that school life offers for supporting authorship, it confines itself to the opportunities that education in school *subjects* offer. Each of those subjects represents an aspect of culture, to which pupils are introduced (and familiarized) through education. Within those subjects, this study confines itself to mathematics and physical science.

OBJECTIVE

To contribute to an improvement of external in-service training for school leaders while this improvement is particularly focused on the development of pedagogical leadership.

RESEARCH QUESTIONS

How can one envision that external training of a school leader has such an impact on his/her identity properties⁶⁵ that, as a result, he/she will improve in pedagogical leadership concerning education in mathematics and physical science?

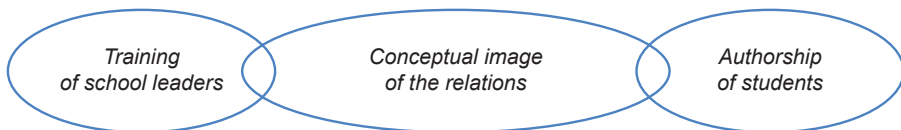
Sub-questions

- a. What identity properties can contribute to a good (and better) functioning of a school leader as pedagogical leader with regard to education in mathematics and physical science?
- b. How can one envision that participation in external training for school leaders contributes to the development of identity properties found in the first question?

NATURE OF THE RESEARCH

An important reason to focus on 'envision' in the questions above, is the wish to make testing by research possible. Research that provides in critical testing of good intentions can function as a powerful tool for improvement. A prerequisite for such research is clarity about the suppositions⁶⁶ that underpin the performed interventions. Subsequently one can consider what suppositions can be transformed into testable hypotheses. A conception of the way in which the one and the other are supposedly related is, therefore, the first condition to make testing by research possible. Perhaps not all aspects of support of authorship can be captured in testable hypotheses, but that does not acquit us from the duty to form hypotheses where feasible and to make critical evaluation possible.

figure 19



The present research, which is aimed at formulating suppositions that can be used as 'raw material' for the production of testable hypotheses, has an exploratory and design-oriented character. The research that follows on the first sub-question consists mainly of explorations of mathematics and physical science as cultural practices. The research that follows on the second sub-question is mainly focused on formulating design suggestions for training.

⁶⁵ The expression 'identity properties' in this study is derived from systems theory.

⁶⁶ 'Suppositions' stands here for 'plausible assumptions or beliefs'.

PROBLEMS

The intention to strive for testability raises challenging problems. The connection between 'support' and 'authorship' raises the first problem. If support succeeds in evoking 'authorship', then the relationship between antecedent and resulting consequent is of a special nature. It is typical for this relationship that the evoked authorship will go beyond expectations of the supporter. Understanding of this special relationship is the more adequate, the more a supporter succeeds in evoking surprising results.

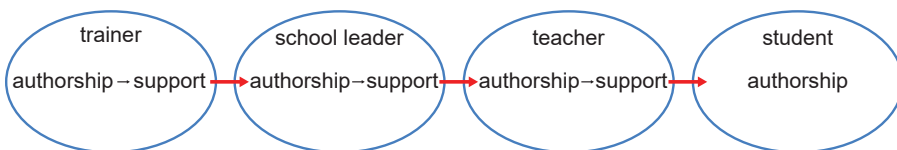
Compared to connections of a causal nature, which are revealed in most types of research, the situation is exactly the reverse. Understanding of the connection between cause and effect is the more adequate, the more a user succeeds in effectuating results that correspond with expectations.

The relationship between 'support' and 'authorship' thus belongs to another category than the relationships that are usually the object of research. In other words: in this special relationship, another mode of 'entailment' is in operation rather than the better-known causality. The particular nature of this entailment raises questions, which must be answered to determine if, and how, testing is at all feasible for this relationship. These questions are named as 'entailment problem' and read as follows:

- *Can the connection between 'support' and 'authorship' be regarded as a mode of entailment that is open to testing;*
- *can this mode of entailment be positioned among other modes of testable entailment;*
- *does this mode of entailment set specific requirements to testing procedures?*

Another problem is related to the chain of entailments between the training of a school leader on the one hand, and opportunities for authorship of pupils on the other hand. By which suppositions can a trainer of school leaders trust that his efforts will eventually benefit the authorship of students? This problem is all the more relevant because an initial analysis shows that the three links of the chain (the red arrows in figure 20) have the character of the special relationship between 'support' and 'authorship'. The pedagogical leadership of school leaders requires authorship that trainers can support. The pedagogical leadership of teachers requires authorship that school leaders can support. The authorship of pupils can be supported by teachers. The above mentioned 'entailment problem' is inherent in every link of the chain.

figure 20



If the questions of the entailment problem can be answered at all, then it still raises the question whether, and how, the chain of these links can be designed in such a way

that the desired entailment is effective from beginning to end, and moreover, can be tested and improved. This last problem is named 'linking problem'.

IMPLEMENTATION AND FINAL RESULTS

The research addressing the first sub-question is described in parts II and III. Its execution has to offer a solution to the entailment problem at the same time. This task is met by contrasting exact disciplines to other members of the 'research family'. This contrasting serves three goals: clarifying the profile of exact disciplines, clarifying the entailment which connects support and authorship, and identifying a mode of research which is adequate for this particular entailment.

Another aspect of this research is the exploration of the opportunities for inspired authorship that exact disciplines can offer, and the 'translation' of those opportunities into education. In doing so, the exploration takes into account that not only positive experiences with exact disciplines can inspire authorship, but also negative experiences.

A third aspect is the exploration of the way in which teachers can support authorship of students, and, in turn, school leaders can support authorship of teachers.

A fourth aspect is a discovery that some support practices offer good starting points for development into forms of research. The exemplary design of such '*authorship research*' results in finding an answer to the entailment problem.

From the above, eighteen desirable identity properties are derived as a final answer to the first sub-question. This answer also leads to the conclusion, that pedagogical leadership of science teachers is an important precondition for school leaders to develop productive pedagogical leadership.

That is why in part IV the second sub-question is not only answered for school leaders but also for mathematics and science teachers. The answer exists mainly of the global and exemplary design of a training route, both for a school leaders training and for a teacher training, with as most important ingredients:

- Schooling and training in philosophizing about school subjects, as representations of cultural disciplines with a long and instructive history, in relation with philosophizing about inspiration and authorship. The objective is the personal acquisition of a common language that enables more precise and distinctive thinking, speaking and acting regarding support of authorship through education.
- Schooling and training in '*linked authorship research*'. The design of this research consists of a chain of links that are implemented within training, between training and schools, and within schools. The objective of the links is to offer a solution to the above-mentioned 'linking problem', both for a teacher training and for a school leaders training.

INTERMEDIATE RESULTS

Examination of the exact sciences leads to the identification of several aspects which are inspiring to practitioners, and to which students in principle can also be introduced. Thus, multiple opportunities become apparent that can be (better) exploited in education.

The acquaintance with exact disciplines can also result in negative experiences, which are connected with interpretations of their possibilities and limitations (such as overestimations, disappointments, compartmentalization, fruitless polemics). A balanced understanding of possibilities and limitations of those sciences can help to turn those negative experiences into inspiration. For example by seeking and finding inspiration in cooperation with other subjects. Or, by unmasking irrational myths about sciences, and by facing real risks of their applications constructively. Science teachers can show pedagogical leadership by helping pupils to turn their negative experiences with and around their subjects into inspiring experiences. In that way, they can also contribute to opportunities for authorship for students who have little or no affinity with science subjects.

Philosophizing with students about possibilities and limitations of science, and about inspiration and frustration, can in itself be inspiring for students, and, moreover, puts the experiences and learning processes discussed 'on a pedestal'. Nurturing philosophical reflection is another way for a science teacher to support the authorship development of his students.

Such philosophical conversations are the more effective when teachers of different subjects carry on such conversations and use the same language. A common language presupposes that teachers also mutually discuss the contributions that their subjects can offer to authorship development. And that presupposes that the school leader is eager and able to guide such discussions (schooling and training included) in teams and departments.

As a contribution to a language, which can be used for balanced philosophizing as well as for recognizing different manifestations of authorship development, a philosophical investigation into the concept of 'authorship' (as creative subjectivity) is undertaken. This investigation results in distinguishing three 'dimensions' of learning meaningful authorship:

- learning from inspiring play and enjoyment,
- learning from inspiring responsibility,
- learning from inspiring gratitude.

Finally, the concept of *authorship research*, as support which aims systematically at high-quality results, leads to the above mentioned final results.

DISCUSSION

Values are necessarily biasing my exploratory and design-oriented research. To 'put my cards on the table' I made my fundamental ideological, pedagogical and philosophical choices explicit in advance (in part I, chapter 3). The results are therefore also related to these choices and in that sense of a relative nature.

The approach of the research was also determined by recent developments in biology, which in my conviction (shared by others) require a revision of traditional views of humanity, with as yet not entirely foreseeable implications for the humanities. These developments and visions are still open to discussion, and so are my results, in as far as they are determined by this conviction.

The suppositions that the present research produces are explicitly meant as starting points for improvements with the help of testing by research, and with the aid of other investigations. Furthermore, my personal 'context of discovery' was naturally of a limited nature too. Therefore additions and improvements are desirable.

The results of this research will finally only meet my intention when they inspire readers to use these results creatively. These results are to be regarded as *suggestions*, which in every new situation must be tailor made, and moreover, inspire original reconstructions of other, new or improved suggestions.

Dankwoord

Er is onnoemelijk veel, dat aan deze studie heeft bijgedragen, dat ik niet aan mijzelf te danken heb. Het klopt helemaal met mijn reflecties uit deel III, dat het veel voldoening gaf om via mijn onderzoek door te kunnen geven wat eerder al aan mij gegeven was. Daarom wil ik nu graag uitdrukking geven aan dankbaarheid.

De anekdotes waarmee deze studie begint maken duidelijk hoeveel ik te danken heb aan leerlingen. De gebruikte anekdotes vormen een kleine selectie uit de vele verhalen die ik zou kunnen vertellen. Later kwamen daar nog veel bijzondere ervaringen met studenten en 'deelnemers' bij. Het is één van de belangrijkste voorrechten van een onderwijsloopbaan om uit interacties met leerlingen, studenten en deelnemers zoveel inspiratie op te kunnen doen. Van de laatste categorie, deelnemers van een opleiding voor schoolleiders, noem ik graag de deelnemers van de eerste groep, die toen 'Sturen in Complexiteit' heette. Omdat het opleidingsconcept nieuw was, en bovendien voor een groot deel gaandeweg ontwikkeld moest worden, moesten de deelnemers ook 'kinderziektes' verdragen. Dat leverde veel mooie, maar ook frustrerende, confronterende, en altijd leerzame ervaringen op. Omdat het toen al mijn plan was om het opleiden van schoolleiders tot thema van onderzoek te maken beloofde ik aan deze deelnemers dat zij in mijn proefschrift met name genoemd zouden worden. Hierbij bedank ik daarom: Arjen Mintjes, Ellen van der Burgh, Hans Kaspersen, Jan Triepels, Johan Prenger, Johan van der Plas, Karel Bosselaar, Leon Hurkmans, Marc Janssen, Marja van Rheenen, Peter Weel en Wim Weber.

In dit verband moet ik zeker mijn collega's Ben van der Hilst en Catrien Mesman niet vergeten. Samen stonden wij sterker in het complexe waagstuk van uitvoerend ontwikkelen.

Ben en Catrien werden door vele inspirerende collega's voorafgegaan, en door velen opgevolgd. Daarvan noem ik graag de collega's van de chr. MMS Rotterdam, de Marnix Havo, de sg Henegouwerplein, School en Wereld, de Academie voor Theologie en Levensbeschouwing, de Adviesgroep Onderwijs van Hogeschool Holland, de Educatieve Faculteit Amsterdam (HvA/HH) en het Centrum voor Nascholing Amsterdam (UvA/HvA).

Vanaf het moment dat ik mijn eerste schreden zette op het pad van 'zelfstandig wetenschappelijk onderzoek' ben ik daarin begeleid en opgeleid door eminente leermeesters. Door de combinatie met veeleisende onderwijsprojecten die soms slaagden en soms vastliepen, die soms enige ruimte boden voor studie en onderzoek, en soms ook niet, werd dit pad een lange weg waarop ik pas na het pensioen de finish kon bereiken. Des te meer ben ik dankbaar voor de trouwe, kritische en inhoudrijke ondersteuning die ik van deze leermeesters kreeg. Ik bedank daarvoor graag: Gerard de Zeeuw, Henk Tieleman, Cok Bakker, Doede Nauta en Koo van der Wal.

Naast deze leermeesters werd ik op dit pad begeleid door collega's, die in verschillende kringen mijn concepten meelazen, meedachten, kritisch reageerden en de praktische relevantie bewaakten. De gesprekken met deze collega's vormden hoogtepunten van het onderzoeksproces. Van deze kringen noem ik als eerste mijn 'klankbordgroep' met daarin Ard Vermeulen, Bas van den Berg, Ben van der Hilst, Ellen Biersteker, Gabrielle Taus, Lotteke de Kruijff, Luc Stevens, Truus Rozemond en Wim Kouwenhoven. Een tweede kring vormden de collega's van de kenniskring van Marco Snoek (HvA). Uit deze kring noem ik, naast Marco, graag: Hanna de Koning, Inge Oudkerk Pool, Margreet Schriemer en Saskia Simon. Een derde kring vormde de promovendigroep van Cok Bakker. Vanaf 2012 werden er maandelijks bijeenkomsten belegd waarin wij als lotgenoten in het promoveren elkaar feedback gaven en ondersteunden, en gevoed werden met zinvolle informatie.

Mijn collega en schoonzus Wil Hordijk bedank ik tenslotte voor haar deskundige bijdrage aan het schrijven van de Engelse samenvatting.

De essentiële ondersteuning en inspiratie die ik uit de kring van gezin en naaste familie ontvang, wil ik ook graag noemen. Over onze kleinkinderen zijn in deze studie slechts enkele anekdotes te lezen van de vele die ik zou kunnen vertellen. Zij zijn getalenteerde vormgevers en lieten daarvan regelmatig mooie staaltjes zien. Daarom bedank ik nu: Stein, Tom, Lulu, Nessa en Koen. Ook onze (schoon)kinderen Paul, Marjolein, Annemieke en Arnoud lazen en leefden mee, en gaven zodoende kostbare ondersteuning. Bedankt daarvoor! Tenslotte noem ik mijn lieve levenspartner Ellen. Aan haar heb ik onnoemelijk veel te danken, en daarom is deze studie aan haar opgedragen.

Curriculum Vitae

Ik ben op 18 juni 1943 geboren in Rotterdam. Na het behalen van het diploma Gymnasium β in 1961 volgde de studie wis- en natuurkunde aan de Vrije Universiteit te Amsterdam. Vanaf augustus 1965 werd deze studie gecombineerd met filosofie, eveneens aan de Vrije Universiteit. Na het kandidaatsexamen wis- en natuurkunde in december 1965 richtte ik mijn studie op het behalen van het doctoraal filosofie, met wis- en natuurkunde als bijvakken. De studie voor deze bijvakken werd tevens benut (en uitgebreid) voor het verkrijgen van een eerstegraads onderwijsbevoegdheid wiskunde en een tweedegraads bevoegdheid natuurkunde.

Vanaf augustus 1966 combineerde ik deze studies met docentschap in het voortgezet onderwijs te Rotterdam (wiskunde, natuurkunde, filosofie), en met een conrectoraat. De studie filosofie werd wegens drukke werkzaamheden verschillende malen onderbroken en afgerond met een doctoraal-examen op 25 maart 1986.

In de periode van het docentschap voortgezet onderwijs (1966-1983) groeide mijn interesse in de relatie tussen 'onderwijs' en 'vorming'. Deze interesse kwam tot uitdrukking in het ondernemen van tal van projecten (samen met collega's en leerlingen), vooral op de gebieden van mondiale vorming en vredesonderwijs. Naast de activiteiten op de eigen school volgde een aanstelling tot landelijk begeleider "Experimenten Integratie Mondiale Vorming in het Onderwijs", uitgaande van de "Stichting School en Wereld". In het kader van deze laatste functie begeleidde ik andere scholen die met mondiale vorming experimenteerden, en nam ik deel aan landelijke werkgroepen.

In 1983 volgde de overstap naar de HBO-opleiding godsdienst/levensbeschouwing van de Vrije Leergangen, die later werd opgenomen in de Academie voor Theologie en Levensbeschouwing van Hogeschool Holland. Bij deze opleiding werd ik aangesteld als docent filosofie en onderwijskundige vakken.

Vanaf augustus 1986 maakte ik tevens deel uit van de Adviesgroep Onderwijs van Hogeschool Holland. Bij deze adviesgroep fungeerde ik als nascholings-docent, trainer, begeleider schoolontwikkeling, projectmanager, adviseur, coördinator, et cetera.

Om de vereiste deskundigheid voor deze functies te verbeteren werd de Nascholing Organisatieontwikkeling voor het Onderwijs (NOVO) gevolgd (Universiteit van Amsterdam - IMTEC-Oslo, september 1988 - januari 1990).

Binnen enkele van de in dit verband uitgevoerde projecten kon enige ruimte gevonden worden voor onderzoek, zoals:

- "Religionskundliche Bildung im Land Sachsen" (nascholing geschiedenis-leraren in Dresden, mei 1990 - juni 1992), en
- "Scholen voor 2000" (deexperiment PC-educatieve faculteiten, augustus 1992 - september 1995).

De ervaringen en onderzoeksresultaten van deze projecten werden gepresenteerd en gepubliceerd in het kader van de ATEE (Association for Teacher Education in Europe), de IMTEC (International Movement Towards Educational Change) en de Arbeitsgemeinschaft Bildung und Lebensgestaltung (Humboldt Universiteit, Berlijn).

In 1997 werden de lerarenopleidingen van Hogeschool Holland en van de Hogeschool van Amsterdam samengevoegd in de Educatieve Faculteit Amsterdam (EFA)⁶⁷. Samen met de Academie voor Theologie en Levensbeschouwing (ATL) verhuisde ik mee naar deze nieuwe organisatorische eenheid. In het kader van de EFA nam ik deel aan een aantal innovatie-projecten, zoals: "Propedeuse Stage", "Leren en Kwaliteit", "Assessment", "Metawerk" en "Implementatie Dynamisch Curriculum". Ook binnen deze projecten bestond enige ruimte voor onderzoek dat gepresenteerd en gepubliceerd werd.

Vanaf augustus 1999 werd de draad van mijn functioneren als consultant management- en organisatieontwikkeling weer opgepakt door een aanstelling bij het Centrum voor Nascholing Amsterdam (CNA, dochteronderneming van UvA en HvA).

Ook onder de vanuit het CNA ondernomen projecten waren er enkele die zich met onderzoek lieten combineren, zoals:

- Voorbereiding, uitvoering en follow-up van de landelijke conferentie "Eigenzinnige kwaliteitszorg in het onderwijs", op 3 en 4 februari 2000, in samenwerking met het Centrum voor Organisatie-filosofie van de Internationale School voor Wijsbegeerte, en de Chr. Hogeschool Windesheim.
- Ontwikkeling en uitvoering van een nieuwe opleiding voor schoolleiders, onder de naam "Sturen in Complexiteit". Deze opleiding ging van start in het cursusjaar 2001-2002, en werd in 2003, in samenwerking met het Kohnstamm-instituut, verder ontwikkeld tot master-studie, onder de naam "Masteropleiding Integraal Leiderschap". In 2005 werd de master-titel, die met deze opleiding verkregen kan worden, officieel erkend door de Nederlands-Vlaamse Accreditatieorganisatie (NVAO).

Vanaf het cursusjaar 2007-2008 maak ik als onderzoeker deel uit van de kenniskring van het lectoraat "Leren & Innoveren" van Marco Snoek (HvA).

Vanaf november 2011 maak ik als buitenpromovendus deel uit van de leerstoel van prof.dr. C. Bakker, faculteit Geesteswetenschappen, Universiteit Utrecht.

⁶⁷ Deze samenwerking werd in 2005 beëindigd en de betrokken lerarenopleidingen werden toen weer 'ontvlochten'.