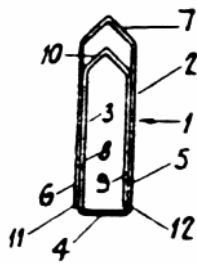


Het vormfunctieperspectief als leerdoel van natuuronderwijs

Leren kijken door de ontwerpersbril



Boerwinkel, Dirk Jan

Het vormfunctieperspectief als leerdoel van natuuronderwijs – leren kijken door de ontwerpersbril / D.J.Boerwinkel. – Utrecht: CD- β Press, Centrum voor Didactiek van Wiskunde en Natuurwetenschappen, Universiteit Utrecht (CD- β Wetenschappelijke Bibliotheek, nr. 46).

Proefschrift Universiteit Utrecht. Met literatuuropgave. Met samenvatting in het Engels.
ISBN: 90-73346-53-3

Trefw.: natuuronderwijs / vorm en functie / ontwerpen / perspectief

Omslag en vormgeving: Afd. Beeldverwerking & Vormgeving, Universiteit Utrecht
Copyright: Dirk Jan Boerwinkel, Utrecht 2003.

CD- β Press, Utrecht

CD-β WETENSCHAPPELIJKE BIBLIOTHEEK

Onder redactie van:

P.L. Lijnse

K.P.E. Gravemeijer

A. Pilot

A.J. Waarlo

1. Didactiek in Perspectief - P.L. Lijnse, W. de Vos, eds.
2. Radiation and Risk in Physics Education - H.M.C. Eijkelhof
3. Natuurkunde-onderwijs tussen Leefwereld en Vakstructuur - R.F.A. Wierstra
4. Een Onverdeelbare Eenheid - M.J. Vogelesang
5. Betrokken bij Evenwicht - J.H. van Driel
6. Relating Macroscopic Phenomena to Microscopic particles: A Central Problem in Secondary Science Education - P.L. Lijnse, P. Licht, W. de Vos, A.J. Waarlo, eds.
7. Kwaliteit van Kwantiteit - H.E. Elzenga
8. Interactieve Video in de Nascholing Reken-wiskunde - F. van Galen, M. Dolk, E. Feijs, V. Jonker, N. Ruesink, W. Uittenbogaard
9. Realistic Mathematics Education in Primary Schools - L. Streefland, ed.
10. Ontwikkeling in Energieonderwijs - A.E. van der Valk
11. Methoden in het Reken-wiskundeonderwijs - K. Gravemeijer, M. van den Heuvel-Panhuizen, G. van Donselaar, N. Reusink, L. Streefland, W. Vermeulen, E. te Woerd, D. van de Ploeg
12. De Volgende Opgave van de Computer - J. Zuidema en L. van der Gaag
13. European Research in Science Education - P.L. Lijnse, ed.
14. Realistic Mathematics Education - K. Gravemeijer
15. De Grafische Rekenmachine in het Wiskundeonderwijs - L.M. Doorman, P. Drijvers, M. Kindt
16. Making sense - Simulation-of-Research in Organic Chemistry Education - H. van Keulen
17. Perspectives on Research in Chemical Education - O. de Jong, P.H. van Roon, W. de Vos, eds.
18. A Problem-Posing Approach to Teaching the Topic of Radioactivity - C.W.J.M. Klaassen
19. Assessment and Realistic Mathematics Education - M. van den Heuvel-Panhuizen
20. Teaching structures in chemistry - An Educational Structure for Chemical Bonding - G.M. van Hoeve-Brouwer
21. Regulatie en homeostase als onderwijsthema: een biologie-didactisch onderzoek - J. Buddingh'
22. Over Natuurkundedidactiek, Curriculumontwikkeling en Lerarenopleiding - P.L. Lijnse en T. Wubbels
23. Integratie en Toepassing van Biologische Kennis - Ontwikkeling en Onderzoek van een Curriculum rond het thema 'Lichaamsprocessen en Vergift' - H. Roebertsen
24. Het thema 'reproductie' in het schoolvak biologie - P.C.F. Reygel
25. Teaching Electrochemical Cells - A study on Teachers Conceptions and Teaching Problems in Secondary Education - J.J.C. Acampo
26. The role of Context and Models in the Development of Mathematical Strategies and Procedures - K. Gravemeijer
27. Thermodynamica leren onderwijzen - W.H. Kaper
28. Interessegeoriënteerd Natuur- en Scheikundeonderwijs - Een studie naar onderwijsontwikkeling op de Open Schoolgemeenschap Bijlmer - R. Genseberger

29. Flexibilization of mental arithmeticsstrategies on a different knowledge base - The empty number line in a realistic versus gradual program design - A.S. Klein
30. A Problem Posing Approach to Teaching an Initial Particle Model - M.J. Vollebregt
31. Met het oog op integratie - Een studie over integratie van leerstof uit de natuurwetenschappelijke vakken in de tweede fase van het voortgezet onderwijs - C. Beeftink
32. Verschillen tussen meisjes en jongens bij het vak rekenen-wiskunde op de basisschool – Eindrapport MOOJ-onderzoek – M. van den Heuvel-Panhuizen en H.J. Vermeer
33. Van vormleer naar realistische meetkunde – Een historisch-didactisch onderzoek van het meetkundeonderwijs aan kinderen van vier tot veertien jaar in Nederland gedurende de negentiende en twintigste eeuw – E.W.A. de Moor
34. Ontwerpend leren in het biologieonderwijs. Uitgewerkt en beproefd voor immunologie in het voortgezet onderwijs – F.J.J.M. Janssen
35. Natuur in pluralistisch perspectief; Theoretisch kader en voorbeeldlesmateriaal voor het omgaan met een veelheid aan natuurbeelden – M. Margadant-van Arcken en C.S. van den Berg
36. Duurzaamheid als leergebied; Conceptuele analyse en educatieve uitwerking – S. Lijmbach, M. Broens en D. Hovinga i.s.m. M. Margadant-van Arcken
37. A problem-posing approach to teaching decision making about the waste issue – J. Kortland
38. Teaching for Scientific Literacy: Context, Competency, and Curriculum – O. de Jong, E.R. Savelsbergh en A.H. Alblas
39. Met sprongen vooruit. Een productief oefenprogramma voor zwakke rekenaars in het getalengebied tot 100 – een onderwijsexperiment – J.J.M. Menne
40. A gateway to numeracy. A study of numeracy in adult basic education – M. van Groenestijn
41. Reinvention of early algebra. Developmental research on the transition from arithmetic to algebra – B.A. van Amerom
42. Education in Israel on collaborative management of shared water resources – M. Dressler
43. Coping with the abstract and complex nature of genetics in biology education. The yo-yo learning and teaching strategy – M.C.P.J. Knippels
44. Werken aan kwaliteitsverbetering van leerlingonderzoek. Een studie naar de ontwikkeling en het resultaat van een scholing voor docenten – Th.J.M. Smits
45. Teaching formal mathematics in primary education. Fraction learning as mathematising process – R. Keijzer
46. Leren kijken door de ontwerpersbril. Het vorm-functieperspectief als leerdoel van natuuronderwijs – D.J. Boerwinkel

Het vormfunctieperspectief als leerdoel van natuuronderwijs

Leren kijken door de ontwerpersbril

*

Perspective of 'form and function' in
primary science education

Taking a designer's view
(with a summary in English)

Proefschrift

ter verkrijging van de graad van doctor
aan de Universiteit van Utrecht
op gezag van de Rector Magnificus, Prof.dr.W.H. Gispen,
ingevolge het besluit van het College voor Promoties
in het openbaar te verdedigen
op woensdag 3 september 2003 des morgens te 10.30 uur

door

Dirk Jan Boerwinkel

geboren op 25 juni 1950, te Driebergen

Promotor: Prof.dr. K. Th. Boersma
Co-promotor: Dr. A.J. Waarlo

Centrum voor Didactiek van Wiskunde en Natuurwetenschappen
Leerstoelgroep Didactiek van de Biologie
Faculteit Biologie
Universiteit Utrecht

aan mijn ouders

“Een van de belangrijkste, hoewel nog niet voldoende uitgewerkte aanwijzingen die Maria Montessori heeft gegeven voor de opvoeding van de rijpere jeugd, is die van het noodzakelijke contact tussen jeugd en maatschappij in die levensperiode. Men kan niet zeggen dat bij het huidig schoolsysteem dit contact voldoende gelegd wordt.”

Stelling XVI uit het proefschrift van Feitse Boerwinkel (1943). *De levensbeschouwing van Marcellus Emants*. Amsterdam: ten Have

“Als ik een muzikale volwassene Duits moest leren, begon ik altijd met de Matthäus Passion.”
Hendrika Boerwinkel-van Es

Inhoudsopgave

Hoofdstuk 1. Inleiding

1.1.	Natuuronderwijs in documenten	2
1.2.	Natuuronderwijs in de praktijk	4
1.3.	Criteria voor de selectie en ordening van leerinhouden	6
1.4.	Centrale begrippen als criterium	8
1.5.	Een conceptuele structuur ontbreekt bij natuuronderwijs	10
1.6.	Perspectieven	10
1.7.	Domeinspecifieke metacognitie	15
1.8.	Probleemstelling en vraagstelling	16
1.9.	Ontwikkelingsonderzoek	17
1.10.	Inhoud van dit proefschrift	21

Hoofdstuk 2. Vorm en functie in de biologie en in technisch ontwerpen

2.1.	Inleiding	24
2.2.	Vorm en functie in de biologie	24
2.2.1.	Werkwijze	24
2.2.2.	Historisch overzicht	25
2.2.3.	Begrippen	29
2.2.4.	Vorm en functie in biologisch onderzoek	42
2.2.5.	Kenmerken van het vormfunctieperspectief in biologisch onderzoek	48
2.3.	Vorm en functie in technisch ontwerpen	52
2.3.1.	Werkwijze	52
2.3.2.	Vorm en functie van ontworpen producten	52
2.3.3.	Het ontwerpproces	58
2.3.4.	Heuristieken bij ontwerpen	61
2.3.5.	Het vormfunctieperspectief in technisch ontwerpen	66
2.4.	Naar een gemeenschappelijk model	67
2.4.1.	Ontwerpen versus onderzoeken	67
2.4.2.	Intentioneel versus niet-intentioneel	68
2.4.3.	Het gemeenschappelijk model	69
2.4.4.	Heuristieken in het gemeenschappelijk model	71
2.4.5.	Overeenkomst in heuristieken	75
2.4.6.	Conclusie	76

Hoofdstuk 3. Het aanleren van perspectieven

3.1.	Inleiding	78
3.2.	Het vormfunctieperspectief als vakdidactisch begrip	78
3.3.	Het vormfunctieperspectief als metacognitieve strategie	80
3.4.	Leren en onderwijzen van het vormfunctieperspectief	81
3.5.	Criteria voor een onderwijsleerstrategie	87

Hoofdstuk 4. De onderwijsleerstrategie en het scenario

4.1.	Inleiding	90
4.2.	Het vormfunctieperspectief vertaald naar leerdoelen	90
4.3.	Metacognitie als leerdoel	93
4.4.	Op weg naar de onderwijsleerstrategie	95
4.5.	De onderwijsleerstrategie	100
4.6.	De structuur van het scenario	106

Hoofdstuk 5. De test van het scenario

5.1.	Inleiding	108
5.2.	Onderzoeksprocedure	108
5.2.1.	Deelvragen	108
5.2.2.	Het benaderen van leerkrachten	109
5.2.3.	Dataverzameling	110
5.2.4.	Analyse van de data	114
5.2.5.	De twee onderzoeksrondes	115
5.3.	Resultaten per activiteit	117
5.3.1.	Oriëntatie	117
5.3.2.	Ontwerpen	120
5.3.3.	Reflectie op ontwerpen	122
5.3.4.	Leren kijken als een ontwerpen	123
5.3.5.	Zelf kijken met de ontwerpersbril	126
5.3.6.	Reflectie op de ontwerpersbril	130
5.3.7.	Levende dingen bekijken als een ontwerper	131
5.3.8.	Zelf levende dingen bekijken	133
5.3.9.	De vier V's	134
5.3.10.	Ontwerpen van de natuur	136
5.3.11.	Zelf natuur ontwerpen	138
5.3.12.	Tweede reflectie op de ontwerpersbril	141
5.3.13.	Napeiling	143
5.4.	Resultaten van het scenario wat betreft de leerdoelen	144
5.4.1.	Leerdoel 1,2 en 5: beschrijven van kenmerken en functies	144
5.4.2.	Leerdoel 3: relaties leggen tussen vorm en functie	145
5.4.3.	Leerdoel 4: vorm-functierelaties verklaren	146
5.4.4.	Het heen-en-weer denken	148
5.4.5.	De mate van zelfstandigheid	150
5.5.	Resultaten van het scenario wat betreft de metacognitie	152
5.5.1.	Wendbaarheid	152
5.5.2.	Systematiek	154
5.5.3.	Taligheid en bewustheid	155
5.6.	Adequaatheid van het scenario	157

Hoofdstuk 6. Conclusies

6.1.	Inleiding	160
6.2.	Uitvoering van het scenario	160
6.3.	Afwijkingen van het voorspelde leerproces	162
6.4.	Haalbaarheid van perspectieven als leerdoel	166
6.5.	Op weg naar een nieuwe onderwijsleerstrategie	168
6.5.1.	Leerpunten uit de uitvoering	168
6.5.2.	Orderingscriteria	169
6.5.3.	Schets van een nieuwe onderwijsleerstrategie	171
6.6.4.	Leerdoelen en het analyseschema	173
6.6.	Opbrengst van dit onderzoek	177
6.6.1.	Bijdrage aan de domeinspecifieke visie op leren en onderwijzen	177
6.6.2.	Bijdrage aan materiaal- en leerplanontwikkeling	178
6.7.	Suggesties voor vervolgonderzoek	179

Literatuurlijst	182
------------------------	-----

Bijlagen

Bijlage 1.	Het scenario	190
Bijlage 2.	Werkbladen	210

Samenvatting	230
---------------------	-----

Summary	238
----------------	-----

Dankwoord	244
------------------	-----

Curriculum vitae	245
-------------------------	-----

Hoofdstuk 1

Inleiding

- 1.1. Natuuronderwijs in documenten
- 1.2. Natuuronderwijs in de praktijk
- 1.3. Criteria voor de selectie en ordening van leerinhouden
- 1.4. Centrale begrippen als criterium
- 1.5. Een conceptuele structuur ontbreekt bij natuuronderwijs
- 1.6. Perspectieven
- 1.7. Domeinspecifieke metacognitie
- 1.8. Probleemstelling en vraagstelling
- 1.9. Ontwikkelingsonderzoek
- 1.10. Inhoud van dit proefschrift

1.1 Natuuronderwijs in documenten

Natuuronderwijs is het leergebied in het primair onderwijs waarin de levende en niet-levende natuur wordt bestudeerd. In de Wet op het Basisonderwijs (sinds 1998 Wet op het Primair Onderwijs) is onderwijs voorgeschreven over ‘de natuur, waaronder biologie’. In de toelichting op de wet wordt aangegeven wat in natuuronderwijs aan de orde komt: “Het gaat over de hele ons omringende materiële werkelijkheid, dus de levende en de levenloze natuur, waartoe ook allerlei zaken behoren die met techniek te maken hebben” (Wet op het Basisonderwijs, 1985).

In 1993 zijn de kerndoelen voor natuuronderwijs vastgesteld en in 1998 zijn deze herzien (Besluit Kerndoelen Basisonderwijs 1993 en 1998). Deze kerndoelen hebben de status van streefdoelen. Ze geven aan wat scholen minimaal dienen aan te bieden. Natuuronderwijs wordt niet centraal getoetst in de eindtoets basisonderwijs van het Cito, maar scholen kunnen wel op vrijwillige basis deelnemen aan een aparte toets wereldoriëntatie, waar natuuronderwijs in is opgenomen. Figuur 1.1 geeft een overzicht van de onderwerpen die binnen natuuronderwijs worden bestudeerd. Veel van de documenten die in Nederland zijn geproduceerd over natuuronderwijs komen voort uit het project Natuuronderwijs op de Basisschool (NOB) of zijn geproduceerd door voormalige leden van deze projectgroep (Projectgroep Leerplanontwikkeling Basisschool, 1986; Both, 1985a,b; Marell, 1990; Kamer-Peters, 1991; De Vaan & Marell, 2000). Hierdoor is er een grote overeenkomst in de geformuleerde doelen en didactiek van natuuronderwijs.

Als algemene doelstelling wordt genoemd:

“Natuuronderwijs op de Basisschool is erop gericht kinderen zicht te geven op samenhangen in de materiële werkelijkheid, waarmee het leven van mensen onlosmakelijk is verbonden. Ontdekkende/onderzoekende activiteiten zijn daarbij onmisbaar als basis voor kennis, verwondering, een onderzoekende houding en een besef van zorg en verantwoordelijkheid voor jezelf, de medemens en de omgeving.”
(Projectgroep Leerplanontwikkeling Basisschool, 1986)

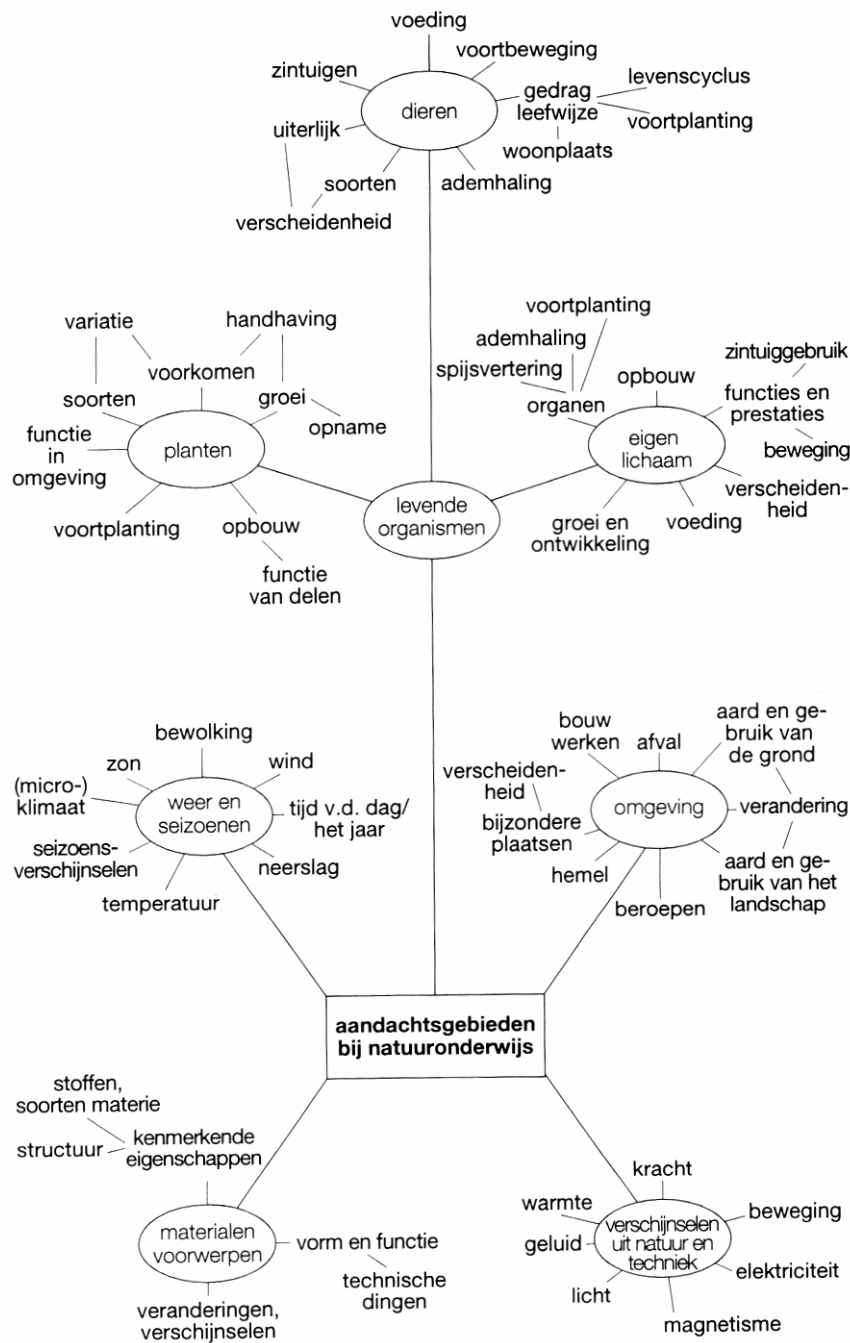
De didactiek van natuuronderwijs wordt duidelijk gerepresenteerd door het ‘vijfstappenschema’ (De Vaan & Marell, 2000), dat in de meeste didactische overzichten is terug te vinden.

1. er komt iets binnen (introductie)
2. vrije en oriënterende verkenning (“aanrommelen”)
3. vraag het de ...zelf maar (onderzoek)
4. vertel het elkaar (verslaggeving)
5. de leerkracht vertelt nog meer (informatie achteraf)

Niet de vakinhoud staat centraal in deze didactiek, maar de vaardigheid van de leerling om zelf kennis over de natuur te verwerven.

“Het belangrijkste doel van natuuronderwijs is dan vooral het vinden van zinvolle antwoorden bij vragen die kinderen aan hun omgeving stellen.” (Projectgroep Leerplanontwikkeling Basisschool, 1986, onderstreping van de auteur)

De rol van de leerkracht is in deze visie vooral het introduceren van situaties die vragen oproepen, en het begeleiden van de leerlingen bij hun onderzoek. Hierbij gaat het steeds om directe confrontatie met het concrete materiaal.



Figuur 1.1 Aandachtsgebieden natuuronderwijs (Kamer-Peeters, 1991)

Als belangrijke argumenten om niet uit te gaan van de logica van een vakstructuur, maar uit te gaan van vragen van kinderen worden genoemd (Projectgroep Leerplanontwikkeling Basisschool, 1986):

- De antwoorden die het kind door eigen onderzoek vindt op de eigen vragen zijn van grotere waarde dan antwoorden vanuit de theorie, doordat het de antwoorden van het kind zelf zijn. De projectgroep Natuuronderwijs voor de Basisschool

(NOB) spreekt hier van de ‘pedagogische dimensie’ van natuuronderwijs. Het kind leert dat het zelf aan antwoorden kan komen.

-De betrokkenheid van de kinderen (de projectgroep NOB spreekt consequent over kinderen in plaats van leerlingen) wordt groter door de eigen actieve inbreng. Via deze betrokkenheid kan ook een zorgzame houding worden bereikt voor de bestudeerde verschijnselen.

-Natuuronderwijs moet de leefwereld van de kinderen begrijpelijk maken. Vragen van kinderen zullen gaan over de verschijnselen die ze tegenkomen.

-De ‘onderzoekende houding’ is een wezenlijk kenmerk van de culturele evolutie van de mens. Leren onderzoeken is dus ook een vorm van cultuuroverdracht.

In deze visie op natuuronderwijs past geen voorgeschreven volgorde of minimaal aanbod van vakinhouden, en in de eerste fase van het NOB-project was daar inderdaad geen sprake van. In de tweede fase van het project was men gedwongen om toch een inhoudelijke keuze te maken in de vorm van kerndoelen en een leerplan. In het leerplanvoorstel ‘Natuuronderwijs in grote lijnen’ (Kamer-Peeters, 1991) wordt voor kleuter-, onder-, midden- en bovenbouw een keuze gedaan uit elk van de aandachtsgebieden die in Figuur 1.1 zijn gegeven. Daarnaast wordt in dit leerplanvoorstel een overzicht geboden hoe een longitudinale opbouw van inzichten en vaardigheden eruit kan zien. Dit overzicht is onder andere in de methode ‘In Vogelvlucht’ (Maissan & Simons, 1995) gehanteerd als richtsnoer.

De komst van kerndoelen betekende een nieuwe fase in de ontwikkeling van natuuronderwijs. Het uitgangspunt dat vragen van kinderen centraal moeten staan, is nu eenmaal moeilijk te combineren met het ontwikkelen van methoden, kerndoelen en toetsen. Daarin is immers de keuze van leerinhouden niet meer aan de leerling. Ook het onderzoeken als centrale activiteit is onder druk komen te staan. In aanvankelijke versies van de kerndoelen vormen onderzoeksvaardigheden nog een onderdeel van de kerndoelen van ‘De natuur, waaronder biologie’. In latere versies zijn deze uit de kerndoelen natuuronderwijs gehaald en in sterk verdunde vorm opgenomen in de ‘leergebiedoverstijgende doelen’. De Cito-toetsen wereldoriëntatie bevatten voor het gedeelte over natuuronderwijs evenmin evaluatievormen die onderzoeksvaardigheden testen.

Concluderend kan worden gesteld dat er twee soorten documenten richtlijnen bevatten over natuuronderwijs:

1. De oorspronkelijke NOB-visie waarin vragen en onderzoeksactiviteiten van leerlingen centraal staan. Deze visie is niet verdwenen, en vormt nog steeds het uitgangspunt bij het opleidingsonderwijs (Marell, 1990; Procesmanagement Lerarenopleidingen, 1997).
2. Leerplan, leermethoden, kerndoelen en toetsen die minder of geen accent leggen op eigen onderzoek en een omvangrijke hoeveelheid leerstof bestrijken.

Afgezien van de moeilijkheid deze twee typen documenten te combineren in het onderwijs, blijken beide voorschriften ook problemen te geven bij de implementatie.

1.2 Natuuronderwijs in de praktijk

De implementatie van natuuronderwijs waarbij uitgegaan wordt van vragen van leerlingen levert grote problemen op. Het begeleiden van open onderzoeksvormen is een didactische competentie waarvoor de opleiding tot leerkracht basisonderwijs doorgaans

niet voldoende oefening biedt. Uit meerdere onderzoeken blijkt dat in de praktijk natuuronderwijs nog vooral frontaal wordt gedoceerd en onderzoeksactiviteiten maar sporadisch voorkomen (Inspectie, 1993; Wijnstra, 1999). Leerkrachten blijken bij natuuronderwijs vaak gebrek aan deskundigheid te ervaren, meer dan bij vakken als geschiedenis en aardrijkskunde (Wijnstra, 1999). Van den Akker (1988) en Van den Berg (1996) hebben onderzocht welke factoren in de instructie van leerkrachten de implementatie van ontdekkend leren kunnen bevorderen. Hierbij bleek dat de aanpak van het vijf-stappen-schema leerkrachten voor grote problemen stelt. Naast het gebrek aan vertrouwen in de eigen inhoudelijke kennis bleek de andere rol die het begeleiden van leerlingen bij ontdekkend leren van de leerkracht vereist, grote moeilijkheden op te leveren. Veel leerkrachten vonden het moeilijk in de begeleiding de juiste middenweg tussen teveel sturing en te weinig sturing te vinden. Van den Akker (1988) concludeerde dat in het materiaal dat door het NOB-project was ontwikkeld de rol van de leerkracht was onderbelicht, en heeft in een herschreven versie van lesmateriaal procedurele specificaties toegevoegd die de leerkracht een duidelijker oriëntatie geven op de uit te voeren taak. Van den Berg (1996) heeft in een nascholingscursus naast oefening met zelf onderzoeken en toepassen in de eigen klas ook de andere rol van de leerkracht bij ontdekkend leren expliciet aan de orde gesteld, uitgaande van een constructivistische visie op leren en kennis.

De moeizame implementatie van de ‘didactiek van het ontdekkend leren’ (Procesmanagement Lerarenopleidingen, 1998) is niet het enige praktijkprobleem. Een ander probleem is verbonden met de voorgeschreven inhoud van natuuronderwijs, namelijk dat de beschikbare tijd te kort blijkt om de gestelde doelen te bereiken (Commissie Evaluatie Basisonderwijs, 1994). Dat de gestelde doelen niet worden bereikt, wordt bevestigd door de onderzoeken naar het wereldoriëntatie-onderwijs in het kader van de Periodieke Peiling van het Onderwijsniveau (Van Weerden, 1993; Wijnstra, 1999). Zowel het aanbod als de prestaties van de leerlingen op de proefscholen bleken niet te voldoen aan wat in de kerndoelen gevraagd wordt.¹ Uit onderzoek van de Inspectie blijkt dat bepaalde onderdelen, met name de natuurkundige, nauwelijks aan bod komen (Inspectie, 1993). Een ander gegeven dat doet twifelen aan de kwaliteit van natuuronderwijs in de praktijk is dat in de PPON-onderzoeken vrijwel geen verband is gevonden tussen de prestaties van de leerlingen en de hoeveelheid tijd die aan natuuronderwijs is besteed (Van Weerden, 1993; Wijnstra, 1999). De Biologische Raad constateert dat het huidige natuuronderwijs niet voldoet en bepleit grotere aandacht voor natuuronderwijs op de basisschool en op de opleiding, gekoppeld aan een grotere samenhang in het onderwijsprogramma (Biologische Raad, 2002).

Een probleem bij de inhoudelijke planning van natuuronderwijs is dat het voor leerkrachten moeilijk is een beeld te krijgen van de identiteit van het leergebied. Het terrein van mogelijke onderwerpen binnen natuuronderwijs is onafzienbaar, en wordt nog breder door de introductie van leergebieden die voor een deel tot natuuronderwijs behoren, zoals milieu, gezond gedrag en techniek. De leerkracht dient naast de ‘didactiek van beleving’ en de ‘didactiek van het ontdekkend leren’ ook de ‘didactiek van het keuzes

¹ Internationaal gezien scoren Nederlandse leerlingen uit groep 5 en 6 overigens goed in natuuronderwijs, gezien de uitkomsten van het TIMMS-onderzoek (Knuver e.a., 1997). Deze maat is echter puur relatief en kan niet gebruikt worden om te constateren dat het onderwijs in natuuronderwijs voldoet. Bovendien is een andere conclusie uit dit rapport dat meisjes in Nederland voor natuuronderwijs significant slechter presteren dan jongens.

maken' en de 'didactiek van ontwerpen, maken en gebruiken' te kunnen hanteren (Procesmanagement Lerarenopleidingen, 1998). Doordat voor milieu, gezond gedrag en techniek aparte kerndoelen zijn geformuleerd, en methoden natuuronderwijs deze aspecten niet systematisch opnemen, zijn de grenzen van het vak natuuronderwijs vaag geworden. Dit wordt nog versterkt door een aanzienlijke stroom additioneel lesmateriaal van instanties op het gebied van gezondheidsvoorlichting en natuur- en milieueducatie. Scholen en leerkrachten moeten dus steeds kiezen wat ze uit het potentiële aanbod kiezen en wat ze weglaten.

1.3 Criteria voor de selectie en ordening van leerinhouden

Noodzaak van inhoudelijke kaders

Vanuit diverse instanties wordt gepleit voor een heldere vakstructuur waarmee onderscheid is te maken in hoofd- en bijzaken. De Inspectie Basisonderwijs (Inspectie, 1993) komt tot de conclusie dat een coherente 'basisleerlijn' hard nodig is om scholen en leerkrachten meer duidelijkheid te geven over wat er minimaal moet worden geleerd. In een rapport van het Sociaal Cultureel Planbureau wordt geconstateerd dat het zelf bepalen van het curriculum een te zware last legt op de toch al overbelaste scholen. In dit rapport wordt gepleit voor een minder terughoudende rol van de overheid via het vaststellen van een kerncurriculum, dat ongeveer 70% van de onderwijstijd zou moeten beslaan (Bronneman-Helmers, 1999). De Onderwijsraad komt tot eenzelfde voorstel (Onderwijsraad, 2001). Mede op basis van deze gedachte is een voorstel voor beperking en herordening van de kerndoelen gemaakt, waarbij enerzijds het probleem van de overladenheid wordt aangepakt en anderzijds de scholen meer vrijheid krijgen voor eigen keuzen (Commissie Kerndoelen Basisonderwijs, 2002). De kerndoelen voor natuuronderwijs zijn in dit voorstel overzichtelijker gerangschikt, doordat sprake is van één leergebied, 'orientatie op natuur en techniek' met de domeinen 'natuur' en 'techniek'. In dit leergebied zijn kerndoelen opgenomen die eerder verspreid waren over milieu, techniek, natuuronderwijs, gezond en redzaam gedrag en vakoverstijgende doelen.

Een ander argument om meer duidelijkheid te verschaffen over wat er geleerd moet worden, is dat helderheid over de te bereiken kennis en vaardigheden kan helpen om achterstanden - die de toegang tot vervolgonderwijs kunnen bemoeilijken - te voorkomen. De Onderwijsraad heeft om die reden gepleit voor het formuleren van 'leerstandaarden' die op meerdere punten in het onderwijs aangeven wat de leerling dient te beheersen (Onderwijsraad, 1999). Vanuit de SLO wordt hier werk van gemaakt via het formuleren van tussendoelen, gebaseerd op de kerndoelen basisonderwijs. Bovengenoemde argumenten voor een heldere vakstructuur en afbakening zijn vooral ingegeven door de wens van de overheid meer greep te krijgen op het onderwijsniveau en de wens van scholen om meer duidelijkheid te krijgen over het gewenste aanbod. Daarnaast is een heel ander argument voor een heldere vakstructuur af te leiden van de noodzaak de leerling te helpen zijn eigen leerervaringen te structureren. Het basisidee achter ontdekkend leren, namelijk dat de leerling door eigen onderzoek zelfstandig tot kennisconstructie komt, is inmiddels verlaten. Een inhoudelijk kader is onmisbaar, zowel als leidraad voor de leerkracht, als voor de leerling om de gewenste samenhang in inzichten te verwerven (Boersma & Schermer, 2001).

Pogingen tot het opstellen van criteria

Of de keuze nu door de scholen of door overheidsinstanties wordt gemaakt, criteria voor een keuze van leerinhouden zijn niet eenvoudig te vinden. Vanuit de didactiek van het ontdekkend leren zijn weinig criteria af te leiden, omdat de leerling immers aan diverse onderwerpen dezelfde onderzoeksvaardigheden kan opdoen. Het leerplanvoorstel 'Natuuronderwijs in grote lijnen' (Kamer-Peeters, 1991) noemt als criteria voor inperking:

- De directe omgeving van de leerlingen is de bron van de leerstof
- De leerstof moet mogelijkheden bieden tot een actieve omgang ermee
- De leerstof moet leiden tot meer greep op de werkelijkheid.

Deze criteria bevatten geen inhoudelijke component en perken in feite dus ook niets in.

De kerndoelen geven momenteel een indicatie van waar het onderwijs over moet gaan, maar zijn dermate open geformuleerd dat er niet uit afgeleid kan worden op welk niveau deze moeten worden beheerst (Wagenaar en Notté, 1993). Een poging tot concretisering hiervan is gedaan door het Cito, in het kader van het ontwikkelen van toetsen voor de wereldoriënterende vakken. In eerste instantie is geprobeerd standaarden voor het eindniveau te ontwikkelen op basis van een domeinbeschrijving (Cappers e.a., 1995; Wijnstra, 1999). Deze domeinbeschrijving was vooral gebaseerd op de bestaande praktijk en analyse van methoden. Na kritiek op deze uitwerking (Imelman, 1994) zijn initiatieven genomen om op een beter beargumenteerde wijze te komen tot consensus over wat geleerd zou moeten worden via een zogenoemde cultuurpedagogische discussie. Daarin wordt gepoogd in een gesprek met cultuurkenners, kindkenners en pedagogen criteria te ontwikkelen voor de selectie van vakinhouden (Wagenaar, 1994; Boersma, 1995) en uiteindelijk te komen tot een meer beargumenteerde domeinbeschrijving. Hiermee is de vakdiscipline als 'over te dragen cultuur' weer een medespeler geworden in de didactiek van natuuronderwijs, na lange tijd in de coulissen te hebben gestaan. Een nieuwe versie van de domeinbeschrijving is inmiddels verschenen (Thijssen, 2002).

Voorstellen voor selectie van inhouden

Specifieke voorstellen voor selectie van leerinhouden binnen wereldoriëntatie zijn onder andere te vinden in publicaties die verwant zijn met ontwikkelingsgericht onderwijs (Conijn & Uijlings-Schuurmans, zonder jaartal), in het Montessorionderwijs (raamleerplan Montessori-basisonderwijs, 1983) en in het Jenaplanonderwijs (Both, 1996). In ontwikkelingsgericht onderwijs en het Jenaplanonderwijs worden criteria voor inhouden ontleend aan ervaringsgebieden uit de materiële werkelijkheid, zoals zorgen voor voeding of onderzoek van de omgeving, en niet aan de natuurwetenschappen zelf. Kinderen kunnen hierbij in een realistische context deelnemen aan activiteiten zoals het opzetten van een winkel of onderzoek van de bodem. In het Montessori-onderwijs gaat het erom dat de leerling de grote samenhangen in de natuur en cultuur leert zien en waarderen, leidend tot begrip van de eigen plaats in de kosmos en daarmee tot betrokkenheid en verantwoordelijkheid. Daarbij gaat het nadrukkelijk ook om de grotere gehelen en historische perspectieven, zodat ook onderwerpen als het ontstaan van de aarde en evolutie van de mens worden aangeboden.

Bovenstaande pogingen om criteria voor vakinhouden op te stellen maken uiteindelijk wel gebruik van natuurwetenschappelijke begrippen en werkwijzen. Er is daarbij echter nog nauwelijks sprake van een basis in vakdidactisch onderzoek, en er is dan ook niet vast te stellen welke benaderingen uiteindelijk tot de gewenste resultaten leiden.

Al met al hebben scholen en leerkrachten voorlopig nog weinig hulp als het gaat om heldere criteria voor leerstofkeuze en longitudinale opbouw van het curriculum natuuronderwijs. Als gevolg daarvan zal de keuze van de methode-schrijvers vaak bepalend zijn voor wat er gebeurt. Bovengenoemde problemen doen zich eveneens voor op de opleidingen voor leerkracht basisonderwijs. Het aantal uren studiebelasting voor natuuronderwijs is gemiddeld 150, dus ongeveer 2.5 % van de totale studiebelasting (Van den Berg, 1994)². In die uren moet zowel de didactiek als de vakinhoudelijke scholing aan bod komen. Dat betekent dat uit de veelheid van domeinen doorgaans maar een klein deel aan bod kan komen, en dat voor het overige men er noodgedwongen van uit gaat dat de student dit later wel zelf kan uitzoeken. Ook de docent natuuronderwijs aan de opleiding leerkracht basisonderwijs zit dus met het probleem van de selectie van leerinhouden en leeractiviteiten.

1.4 Centrale begrippen als criterium

In natuuronderwijs zijn onderwerpen uit met name biologie, natuurkunde, scheikunde, milieukunde en techniek aan de orde. Centrale begrippen uit deze vakgebieden bieden een mogelijke ingang voor criteria voor leerstofkeuze. Op drie manieren kunnen centrale begrippen daaraan bijdragen door:

- een hiërarchisch netwerk van relaties tussen samenstellende begrippen uit te werken dat mogelijk bruikbaar is als instrument bij het leren.
- aanwijzingen te bieden hoe de veelheid van onderwerpen is terug te brengen via exemplarisch onderwijs.
- onderzoek naar de ontwikkeling van deze begrippen uit te voeren waardoor aanwijzingen gegeven kunnen worden voor de longitudinale opbouw.

Hieronder wordt op deze drie punten apart ingegaan.

Centrale begrippen als model voor een vakstructuur voor natuuronderwijs

Centrale begrippen uit de verschillende vakgebieden hebben grote verklarende kracht doordat ze veel verschijnselen met elkaar in verband kunnen brengen. De structuur van wetenschappelijke kennis wordt vaak aangeduid als een web. De draden van dit web stellen de relaties voor tussen de begrippen. Dit web heeft een hiërarchische structuur, waarbij bepaalde begrippen veel andere begrippen met elkaar verbinden. Het belang van een dergelijke structuur is enerzijds dat de structuur in de begrippen het leren van de aangeboden leerstof vergemakkelijkt, anderzijds dat de leerling daarmee ook zelf nieuwe kennis kan ontwikkelen (Kamp, 2000; Kamp en Boersma, 2001). De centrale concepten vormen door hun vele verbindingen de sleutel tot nieuwe kennis, vandaar dat ook vaak de term 'sleutelbegrippen' wordt gehanteerd. Er wordt dan ook gepleit voor een belangrijker rol voor deze centrale begrippen in de examenprogramma's en leerboeken biologie (Kamp en Boersma, 2001). Het idee van centrale begrippen als sleutelbegrippen voor het leren is niet nieuw, en onder andere door Bruner (1963) uitgewerkt. Een belangrijk argument van Bruner om uit te gaan van 'pervading and powerful ideas' is dat daarmee

- a. het onthouden wordt vergemakkelijkt doordat de verschijnselen niet als losstaande elementen geleerd hoeven te worden, maar in een zinvolle samenhang.

² Inmiddels zijn er aanwijzingen dat dit nog minder is geworden (Van Harte & Kwikkel, 2002).

b. een betere longitudinale opbouw van leerinhouden mogelijk wordt doordat dezelfde centrale begrippen in opeenvolgende jaarprogramma's terugkomen.

Ook in recente literatuur over science-leerplannen worden deze argumenten van Bruner nog steeds aangehaald (AAAS, 1993; National Research Council, 1996). Overigens wijzen verschillende auteurs erop dat er niet gesproken kan worden van *de* vakstructuur met de pretentie dat die de ware aard van de kennis zou afbeelden (Kamp, 2000; Reygel, 1997). Ten eerste is er steeds discussie binnen een vakwetenschap gaande en zijn begrippen in ontwikkeling. Ten tweede is het mogelijk om meerdere structuren op te bouwen op basis van dezelfde informatie, zonder dat de een beter hoeft te zijn dan de andere.

Centrale begrippen als richtlijn voor exemplarisch onderwijs

Natuuronderwijs kan vanwege de omvang van het domein niet anders dan exemplarisch zijn, maar exemplarisch onderwijs betekent niet dat willekeurig wat onderwerpen zijn weggelaten. Bij exemplarisch onderwijs moet ook voor de leerling duidelijk zijn *waarvan* het behandelde onderwerp een voorbeeld is. De uitvoerige behandeling van de levenscyclus van enkele dieren moet ook duidelijk maken wat bedoeld wordt met een levenscyclus en dat alle levende organismen een levenscyclus hebben. Dit betekent dat exemplarisch onderwijs zich steeds op twee niveaus moet afspelen: de bestudering van de verschijnselen zelf en een hoger niveau, het centrale begrip dat de leerling moet gebruiken tijdens het verdere leren. Indien we een overzicht kunnen krijgen van de aard en inhoud van deze centrale begrippen, kan van daaruit gewerkt worden aan criteria voor de keuze van leerinhouden. Er zijn diverse pogingen gedaan om overzichten te maken van deze gewenste leereffecten van een hoger niveau. De 'Benchmarks for Scientific Literacy' van de American Association for the Advancement of Science zijn daar een voorbeeld van. Onder de leuze 'less is more' wordt uitgegaan van de stelling dat het beter is diepgang in enkele onderwerpen te verwerven dan een oppervlakkige breedte (AAAS, 1993). Daar het aantal centrale begrippen in een vakgebied beperkt is, kan onderwijs dat met betrekking tot *verschijnselen* exemplarisch is, op het niveau van *centrale begrippen* wel dekkend zijn. Een iets andere benadering is te vinden bij Boersma (2001). Relevante biologische kennis is voor hem kennis die een startcompetentie oplevert waarmee leerlingen zelf in de toekomst biologische kennis kunnen verwerven. Deze kennis moet dus behalve begrippen ook domeinspecifieke leerstrategieën bevatten. Het voorstel van de Commissie Kerndoelen Basisonderwijs bevat ook elementen die wijzen op het belang van centrale begrippen. Zo staat in de karakteristiek van het leergebied 'oriëntatie op natuur en techniek' vermeld dat de leerling in deze oriëntatie ook een aantal 'overkoepelende begrippen' ontwikkelt, zoals diversiteit, eenheid in verscheidenheid, samenhang, vorm en functie en duurzame zorg (Commissie Kerndoelen Basisonderwijs, 2002).

Begripsontwikkeling bij kinderen

Er is inmiddels veel onderzoek gedaan naar de ontwikkeling van begrippen en denkbeelden van kinderen (zie bijv. Black, 1997; Vosniadou, 1997; Harlen, 2001). Kinderen blijken voorafgaand aan onderwijs over een bepaald verschijnsel daarover al denkbeelden te vormen die in hun dagelijks leven voldoende verklaring bieden voor de verschijnselen om hen heen. Deze denkbeelden wijken vaak af van de wetenschappelijk geaccepteerde versie, en vertonen een ontwikkeling naarmate de kinderen ouder worden. Van dit onderzoek naar ontwikkeling van begrippen kan gebruik gemaakt worden bij de

bepaling van de volgorde van leerinhouden. De meeste begrippen die zijn onderzocht zijn te beschouwen als centrale begrippen, zoals dier, warmte, energie en erfelijkheid.

1.5 Een conceptuele structuur ontbreekt bij natuuronderwijs

Er is in natuuronderwijs nog nauwelijks sprake van een didactiek op basis van een conceptuele structuur. In handboeken didactiek van natuuronderwijs ligt de nadruk vooral op het zelf onderzoeken en ontbreekt aandacht voor de vakinhoudelijke concepten (De Vaan & Marell, 2000; Harlen, 1997). In die zin lijkt de didactiek van natuuronderwijs af te wijken van bijvoorbeeld de didactiek van aardrijkskunde. In handboeken aardrijkskundedidactiek zien we meer aandacht voor de vakstructuur, of zelfs aparte delen waarin een overzicht wordt gegeven van de leerstof (Jansen e.a., 1996). Eenzelfde verschil zien we bij de eindtermen in het gemeenschappelijk Curriculum Pabo (Procesmanagement Lerarenopleidingen, 1998). De vakinhoudelijke eis beperkt zich hier voor natuuronderwijs tot “de studenten beheersen de kennis en vaardigheden die de in de kerndoelen (...) voor het primair onderwijs vervatte leerinhouden voldoende overstijgen.” In de eindtermen aardrijkskunde wordt daarentegen van de student het hanteren van specifieke geografische begrippen en vraagstellingen gevraagd. Ook in het opleidingsonderwijs lijkt de vakstructuur bij natuuronderwijs een verwaarloosd terrein in de didactiek. Both (1985b) levert kritiek op diverse pogingen die voor die tijd zijn gedaan om via ‘sleutelbegrippen’ inhoudelijke criteria voor natuuronderwijs te formuleren. De gekozen sleutelbegrippen blijken vaak erg abstract, onvolledig en arbitrair. Daarnaast is Both met anderen van mening dat de natuurwetenschap van kinderen heel anders van karakter is dan de ‘officiële’ natuurwetenschap. Leerkrachten zouden dit moeten respecteren, niet door het zo te laten, maar door rekening te houden met de manier waarop kinderen denken, en niet net te doen alsof de vragen die zij zelf in hun hoofd hebt uit de kinderen zijn voortgekomen. Voor Both zijn begrippen ‘niet los verkrijgbaar’. Het maken van lijsten en hiërarchieën van begrippen levert het gevaar op dat die los kunnen worden gezien van activiteiten van kinderen, en voor Both ligt het net omgekeerd: vanuit de activiteiten kunnen – eventueel in een veel later stadium - begrippen groeien. Both geeft aan dat het *voor de leerkracht* dus wel nodig kan zijn om dergelijke sleutelbegrippen in het achterhoofd te hebben, maar geeft daar verder geen aanwijzingen voor. Recent is door Boersma een voorstel gedaan voor een procedure voor de keuze van sleutelbegrippen (Boersma, 2001).

1.6 Perspectieven

In mijn eigen praktijk als docent natuuronderwijs op de pabo werd ik ook geconfronteerd met het selectieprobleem. Wat bied je aan in de beperkte tijd die je ter beschikking staat? Gaat het er ook bij de opleiding vooral om dat de student leert door eigen onderzoek zelf geformuleerde vragen te beantwoorden? Is de taak van de opleidingsdocent natuuronderwijs niet ook om enkele ‘centrale begrippen’ te introduceren? En wat hebben de studenten daar dan aan, wat zijn centrale begrippen eigenlijk voor dingen, didactisch gezien?

In mijn opleidingspraktijk merkte ik dat één van de dingen die ik vanuit mijn vakdiscipline aan de student leerde, was om bepaalde vragen te stellen over verschijnselen. Vaak bleken studenten voor hun stagelessen allerlei interessant materiaal en situaties te hebben verzameld, maar zij konden daar uit zichzelf weinig zinvolle opdrachten bij bedenken die de leerlingen aan het waarnemen en nadenken zouden zetten. Bij het bedenken van vragen en opdrachten bleek een bepaald type centrale begrippen studenten – en mijzelf – behulpzaam te zijn. Het ging hierbij om begrippen van een hogere orde, die een relatie tussen begrippen betreffen. Voorbeelden hiervan zijn ‘eenheid en verscheidenheid’ en ‘vorm en functie’. Damen (1985) hanteert voor deze relaties tussen begrippen de term generalisaties, waarbij hij onderscheid maakt tussen beschrijvende relaties en verklarende relaties. Bij de bestudering van een verschijnsel zoals een wegberm levert elk van deze relaties weer andere vragen en andere inzichten op. Deze relaties zijn te beschouwen als de verschillende manieren waarop biologen naar de wereld kijken. Om die reden zullen ze, in aansluiting op Janssen (2000) in dit proefschrift worden aangeduid als perspectieven. Tabel 1.1. bevat een aantal voorbeelden hiervan.

Tabel 1.1 Perspectieven als bron van vragen en opdrachten.

Perspectief	Hoofdvraag bij bestudering van een verschijnsel vanuit dit perspectief	Voorbeeldvragen bij de bestudering van een wegberm vanuit dit perspectief
Eenheid en verscheidenheid	Wat is anders, wat is hetzelfde?	Hoeveel soorten staan er op dit stukje? Waarop moet je letten om daar achter te komen?
Deel en geheel	Waar bestaat het uit en waar maakt het deel van uit?	Welke verschillende plekjes onderscheid je in deze wegberm? Waar is het nest waar deze mieren bij horen?
Verandering en continuïteit	Wat is veranderd, wat is hetzelfde gebleven?	Welke stadia van bloei zie je aan deze plant? Hoe zou dit er volgende week uitzien?
Vorm en functie	Hoe ziet het eruit en waar dient het voor?	Waarvoor zouden de haren op deze plant dienen? Welke van deze planten zou er beter tegen kunnen dat erop getrapt wordt?
Oorzaak en gevolg	Wat heeft het veroorzaakt en wat is het gevolg ervan?	Waarvoor staat het gras hier veel hoger dan daar? Wat zou er gebeuren als je hier elke week zou maaien?
Organisme en omgeving	Hoe wordt het organisme beïnvloed door de omgeving en hoe beïnvloedt het de omgeving?	De grond onder deze planten ziet er anders uit dan de grond in dat kale stuk. Hoe zou dat komen?

Deze perspectieven bleken nuttig in de opleiding om de verschillende typen vragen die biologen aan verschijnselen stellen te onderscheiden, onder andere om onderscheid te leren maken tussen causale en functionele verklaringen. Deze perspectieven waren overigens niet nieuw, want vergelijkbare voorbeelden staan al in vele andere overzichten

Hoofdstuk 1 Inleiding

(Tabel 1.2.). Grotendeels zijn ze al geformuleerd in het kader van het Biological Sciences Curriculum Study project (BSCS) door Schwab (1963). De vragen die bij deze perspectieven horen hebben in het biologisch onderzoek steeds centraal gestaan, en definiëren in bepaalde zin de biologie als wetenschappelijk bedrijf: biologen zijn mensen die op deze manier kijken naar levende systemen, mensen die daar dit soort vragen aan stellen (Janssen, 2000). Deze perspectieven waren dus kennelijk ‘powerful ideas’ zoals Bruner die bedoelde, manieren van kijken naar verschijnselen die in de biologie wat opgeleverd hebben. Anderzijds bleken ze ook niet beperkt tot de biologie. Het perspectief ‘vorm en functie’ bestaat behalve in de biologie ook in de techniek (Ploegmakers, 1994). De perspectieven ‘verandering en continuïteit’ en ‘oorzaak en gevolg’ staan als ‘structuurbegrippen’ ook in het geschiedenisonderwijs centraal (Dalhuizen e.a.,1998). Deze brede toepasbaarheid is van belang voor het gebruik binnen natuuronderwijs, waarin immers naast biologische verschijnselen ook natuurkundige, scheikundige, fysisch-geografische en technische verschijnselen worden bestudeerd.

Tabel 1.2 Vergelijking van de gekozen perspectieven met andere bronnen.

Dit proefschrift	Biological Sciences Curriculum Studies	Biological Sciences Curriculum Studies	Schoolwerkplan natuuronderwijs	Proefschrift Damen	National Science Education Standards	Voorstel Janssen
<i>Perspectieven</i>	<i>Unifying Concepts</i> (Schwab, 1963)	<i>Principles of Enquiry</i> (Schwab, 1963)	<i>Sleutelbegrippen</i> (projectgroep NOB, 1985)	<i>Relaties</i> (Damen, 1985)	<i>Unifying concepts and processes</i> (National Research Council, 1996)	<i>Biologische Perspectieven</i> (Janssen, 2002)
Eenheid en verscheidenheid	Diversity of type and unity of pattern in living things	Taxonomic	Variatie	Beschrijvende relaties deel-geheel relaties		Vergelijkend
Deel en geheel	Levels of biological organization (in BSCS aparte dimensie)				Systems, order and organisation (deels)	
Verandering en continuïteit	Change of living things through time; evolution The genetic continuity of life		Verandering	Historisch-evolutieve relaties	Evolution and equilibrium	Ontogenetisch Evolutionair
	Regulation and homeostasis	Regulation and Homeostasis			Change, constancy and measurement	
Vorm en functie	The complementarity of structure and function The biological roots of behaviour (deels)	Structure-Function	Relatie	Functionele relaties	Form and function	Functioneel
Oorzaak en gevolg	The biological roots of behaviour (deels)	Antecedent-Consequent		Causale relaties		Mechanistisch
Organisme en omgeving	The complementarity of organism and environment					
	Science as enquiry The history of biological conceptions	Enquiry factors			Evidence, models and explanation	(daarnaast niet biologische perspectieven)

Hoofdstuk 1 Inleiding

Perspectieven, zoals gehanteerd in dit onderzoek, hebben de volgende kenmerken.

1. Perspectieven zijn de denk- en werkwijzen waarop deskundigen in hun beroepspraktijk de verschijnselen benaderen

Deskundigen kunnen daarbij meerdere perspectieven hanteren die elkaar niet uitsluiten, maar aanvullen.

2. Perspectieven zijn samengevatte theorieën

Een perspectief is te formuleren als een *uitspraak* over verschijnselen, bijvoorbeeld;

“Voorwerpen en organismen zijn in te delen op grond van overeenkomsten en verschillen.”

“Als er iets verandert, blijft er ook iets hetzelfde.”

“De vorm van dingen heeft vaak te maken met de functie.”

“Verschijnselen hebben één of meer oorzaken.”

Perspectieven zijn dus ‘theoriegeladen’, al gaat het om theorieën die zo algemeen zijn aanvaard dat we ze vaak niet meer als zodanig ervaren. Het gaat bij deze uitspraken vaak om thema’s die vanaf het begin van de westerse natuurwetenschap centraal hebben gestaan, zoals de vraag hoe iets kan veranderen (Hooykaas, 1976).

Nu is in zekere zin elk begrip een mini-theorie (Koningsveld, 1976), dus deze eigenschap van perspectieven geldt ook voor andere centrale concepten als materie en energie.

3. Perspectieven selecteren door hun vraagstelling bepaalde aspecten van de werkelijkheid.

Kijkend naar een wegberm vanuit het perspectief van ‘eenheid en verscheidenheid’ vallen andere dingen op, en komen andere vragen voort dan kijkend vanuit het perspectief van ‘vorm en functie’. Een bepaalde bladvorm kan vanuit het eerste perspectief bekeken worden als kenmerkend voor een bepaalde plantensoort, maar ook vanuit het tweede perspectief als aanpassing aan betreding of uitdroging (Tabel 1.1.).

Perspectieven maken in die zin de werkelijkheid interessanter en ingewikkelder. Door een bepaalde vraag te stellen ontstaat ineens een probleem waar tot dat moment misschien niet over is nagedacht. Een bepaald gedrag van een dier kan je al jaren gezien hebben zonder erbij stil te staan, totdat je je afvraagt of dat gedrag misschien ook een functie heeft.

4. Perspectieven bieden heuristieken om kennis over verschijnselen te verwerven.

Bij perspectieven horen niet alleen bepaalde vragen, maar ook algemeen toepasbare strategieën om aan antwoorden op deze vragen te komen. Deze strategieën worden heuristieken genoemd. Heuristieken bieden geen garantie op een oplossing, maar structureren het denken. Zo kunnen bijvoorbeeld analogie-redeneringen een belangrijke strategie zijn zowel binnen het perspectief ‘oorzaak en gevolg’ als binnen het perspectief ‘vorm en functie’. Het maken van vergelijkingstabellen kan in het perspectief ‘eenheid en verscheidenheid’ een strategie zijn om een overzicht te krijgen van overeenkomsten en verschillen.

5. Perspectieven kunnen fungeren als ‘organiser’ voor leerervaringen van kleuter- tot en met universitair onderwijs, waarbij de organiser zelf meegroeit.

De ervaringen met een bepaald perspectief op jongere leeftijd vormen de start van een longitudinale leerlijn die door kan gaan tot en met universitair onderzoek. Dit kan doordat genoemde perspectieven al door jonge kinderen te hanteren zijn.

Kleuters kunnen bijvoorbeeld al bezig zijn binnen het perspectief van eenheid en verscheidenheid door het sorteren van bladeren op vorm, kleur, grootte etc. De leerkracht kan in eerste instantie de indelingscriteria voorschrijven, en in latere fasen deze criteria laten benoemen of zelf bedenken. In het voortgezet onderwijs kan binnen hetzelfde perspectief met leerlingen worden gediscussieerd over criteria voor de indeling van een eencellige bij het plantenrijk, dierenrijk of apart rijk, of kan gewerkt worden met determinatietabellen. Via het sorteren zelf kom je dus bij het hanteren van criteria, bij het evalueren van criteria en bij het hanteren van een hiërarchische systematiek. De voorgaande leerervaringen zijn behulpzaam bij de volgende, waardoor de heuristische functie van het perspectief zich steeds kan uitbreiden.

Gezien bovenstaande kenmerken, lijkt het aannemelijk dat deze perspectieven een functie kunnen hebben in de inhoudelijke structurering van natuuronderwijs. Immers, deze perspectieven bieden mogelijkheden om kennis te structureren gedurende de gehele schoolperiode, en ze bieden heuristieken waarmee leerlingen hun eigen vragen via onderzoek kunnen gaan beantwoorden. Ook Boersma (2001) komt tot vergelijkbare voorstellen in de vorm van 'biologisch denken' als competentie. De vraag uit de vorige paragraaf, hoe je uitgaande van vragen van kinderen als leerkracht de kinderen kunt begeleiden bij het construeren van betekenisvolle kennis, zou hiermee een begin van een antwoord kunnen krijgen. De leerkracht zou via het hanteren van deze perspectieven de leerling kunnen helpen bij het vinden van antwoorden op diens vragen, door samen met de leerling te verhelderen welke vraag er eigenlijk gesteld wordt, te wijzen op strategieën die horen bij het zoeken naar een antwoord, en te wijzen op andere relevante vragen. Een stap verder is dat ook de leerling zelf de perspectieven leert hanteren. In dat geval zijn de perspectieven zelf leerdoel geworden.

1.7 Domeinspecifieke metacognitie

Bij het verwerven van kennis en vaardigheden dient de leerling uiteindelijk te komen tot zelfregulatie. Dat betekent dat de leerling inzicht heeft in zijn eigen leerproces en dit kan sturen via bewust te hanteren metacognitieve strategieën (Boekaerts & Simons, 1995). Hiervan is een aantal binnen natuurwetenschappelijk onderwijs bekend, althans in het vakdidactisch onderzoek. De onderzoeksmethodiek die momenteel in de vakdidactiek natuuronderwijs zo centraal staat, zou beschouwd kunnen worden als een metacognitieve strategie, mits deze door de leerling bewust gehanteerd wordt om nieuwe kennis te genereren. Ten aanzien van het structureren van kennis zijn er algemeen toepasbare metacognitieve strategieën geformuleerd die in het onderwijs expliciet te hanteren zijn, o.a. concept-mapping (Novak & Gowin, 1985) en reflectievragen (Baird & Mitchell, 1986). Hoewel de invulling van een conceptmap domeinspecifiek kan zijn, is het instrument concept-mapping zelf niet domeinspecifiek. Domeinspecifieke metacognitieve instrumenten zijn instrumenten die *uit de beschouwingwijze van het domein zelf* voortkomen. In het voortgezet onderwijs is voor het vak biologie een begin gemaakt met onderzoek naar domeinspecifieke metacognitieve instrumenten o.a. 'ontwerpend leren' (Janssen, 1999) en 'systeemdenken' (Boersma, 1997). Bij deze benaderingen worden

kenmerken van biologisch denken - zoals het denken in ontwerpen en systemen - gebruikt om leerlingen te helpen bij de zelfregulatie. De vakgrenzen worden vervolgens weer overschreden door de claim dat deze, binnen de biologie verworven, metacognitie in de vorm van systeemdenken ook in andere leergebieden de leerling kan helpen bij de constructie van kennis (Boersma, 1997).

Perspectieven worden in dit proefschrift opgevat als domeinspecifieke metacognitieve strategieën. Dat betekent dat de leerling in staat moet zijn deze bewust te hanteren bij het leerproces. Daarin ligt een verschil tussen dit onderzoek en het onderzoek van Janssen (1999) hoewel in beide het vorm-functiedenken een centrale rol speelt. In het onderzoek van Janssen is ontwerpend leren gehanteerd als middel voor de verbetering van het immunologieonderwijs in bovenbouw havo/vwo. De leerlingen hanteren daarbij deze strategie nog niet als een bewust te kiezen of te hanteren perspectief. In dit proefschrift is het vormfunctieperspectief geen middel, maar doel. Via toepassing op meerdere inhoudelijke invullingen dient de leerling greep te krijgen op het begrip perspectief zelf.

1.8 Probleemstelling en vraagstelling

De probleemstelling die vanuit de praktijk van natuuronderwijs naar voren is gekomen, is te formuleren als de vraag hoe leerlingen en leerkrachten geholpen kunnen worden bij het structureren van leerervaringen, zonder dat daarmee de vragen van en de verkenning door de leerlingen in het gedrang komen.

Perspectieven zoals hierboven omschreven zouden een oplossing kunnen bieden. Om na te gaan of dat in werkelijkheid zo is moeten deze perspectieven eerst nader worden omschreven, en moet onderwijs worden ontwikkeld en getest dat het verwerven van deze perspectieven als doel heeft. Om onderzoek aan deze probleemstelling te doen is besloten één perspectief nader te bestuderen. Hierbij is gekozen voor het perspectief 'Vorm en Functie', in het vervolg vorm-functieperspectief genoemd.

De reden om dit perspectief te verkiezen boven andere was dat de vorm-functierelatie zowel in biologie als in technisch ontwerpen centraal staat. Daar zowel biologie als techniek bijdragen aan natuuronderwijs is het relevant eerst te onderzoeken of het hier om dezelfde relatie met dezelfde strategieën gaat en of hier binnen natuuronderwijs verbanden kunnen worden gelegd. Ook in het huidige natuuronderwijs is de centrale plaats van de vormfunctierelatie duidelijk. In de kerndoelen basisonderwijs komt de relatie tussen vorm en functie zowel bij natuuronderwijs als bij techniek aan de orde (Besluit Kerndoelen Basisonderwijs, 1998). In het voorstel voor herziene kerndoelen is dit nog sterker het geval, daar de relatie tussen vorm en functie zowel in de kerndoelen voorkomt, als bij de te ontwikkelen 'overkoepelende begrippen'. In dit voorstel is tevens de scheiding in leerdoelen natuuronderwijs en leerdoelen techniek opgeheven en wordt een leergebied 'oriëntatie op natuur en techniek' voorgesteld (Commissie Kerndoelen Basisonderwijs, 2002). Ook in alle andere voorstellen voor centrale begrippen komt vorm en functie steeds voor (zie Tabel 1.2.) In methoden natuuronderwijs en projecten zoals Kid-email krijgt de leerling dan ook regelmatig te maken met vragen en opdrachten over de vormfunctierelatie (Maissan & Simons, 1995; De Vries & Van der Meij, 2002). Het bestuderen van de relatie tussen vorm en functie komt momenteel dus al in verschillende contexten aan de orde binnen natuuronderwijs.

De vraagstelling van dit onderzoek luidt als volgt:

Hoe kunnen leerlingen basisonderwijs het vormfunctieperspectief als metacognitief instrument verwerven?

Deze vraagstelling is onderzocht door een onderwijsleerstrategie voor groep 7/8 te ontwerpen die gericht is op het verwerven en toepassen van het vormfunctieperspectief, en door na te gaan hoe het beoogde onderwijsleerproces feitelijk verloopt.

Voordat een onderwijsleerstrategie kan worden ontwikkeld die het verwerven van het vormfunctieperspectief tot doel heeft, moeten eerst de volgende twee onderzoeksvragen worden beantwoord:

1. *Wat houdt het vormfunctieperspectief in?*

Eerst moet worden nagegaan wat het vormfunctieperspectief inhoudt voor zowel het biologisch onderzoek als voor het technisch ontwerpen. Het is namelijk niet tevoren te zeggen of het hier om eenzelfde perspectief gaat, en het vormfunctieperspectief is nog niet expliciet beschreven in de literatuur.

2. *Hoe kan het aanleren van het vormfunctieperspectief leertheoretisch worden gefundeerd?*

Onderwijs dat een perspectief aanleert, is een voorbeeld van onderwijs waarbij metacognitie een rol speelt. Dat betekent dat zowel concrete ervaringen aan bod komen als reflectie op de wijze waarop deze ervaringen worden verworven. Hierbij kan worden aangesloten op onderzoek over metacognitie. Doordat het perspectief in een bepaalde context moet worden aangeleerd en toegepast op andere contexten wordt ook aangesloten op onderzoek over transfer.

Op basis van de gegevens die het onderzoek naar deze twee vragen oplevert, wordt een voorlopige onderwijsleerstrategie ontwikkeld voor het verwerven van het vormfunctieperspectief. Hiervoor wordt in eerste instantie het vormfunctieperspectief, zoals geformuleerd als antwoord op vraag 1, vertaald voor gebruik in natuuronderwijs. Het resultaat hiervan is een overzicht van leerdoelen die tezamen het vormfunctieperspectief vormen. Op grond daarvan, en op grond van de in onderzoeksvraag 2 verzamelde onderwijskundige criteria, wordt een onderwijsleerstrategie ontworpen die deze handelingen introduceert, stimuleert en aanleert. De derde onderzoeksvraag volgt daaruit:

3. *Is de ontworpen onderwijsleerstrategie adequaat om leerlingen het vormfunctieperspectief te doen verwerven?*

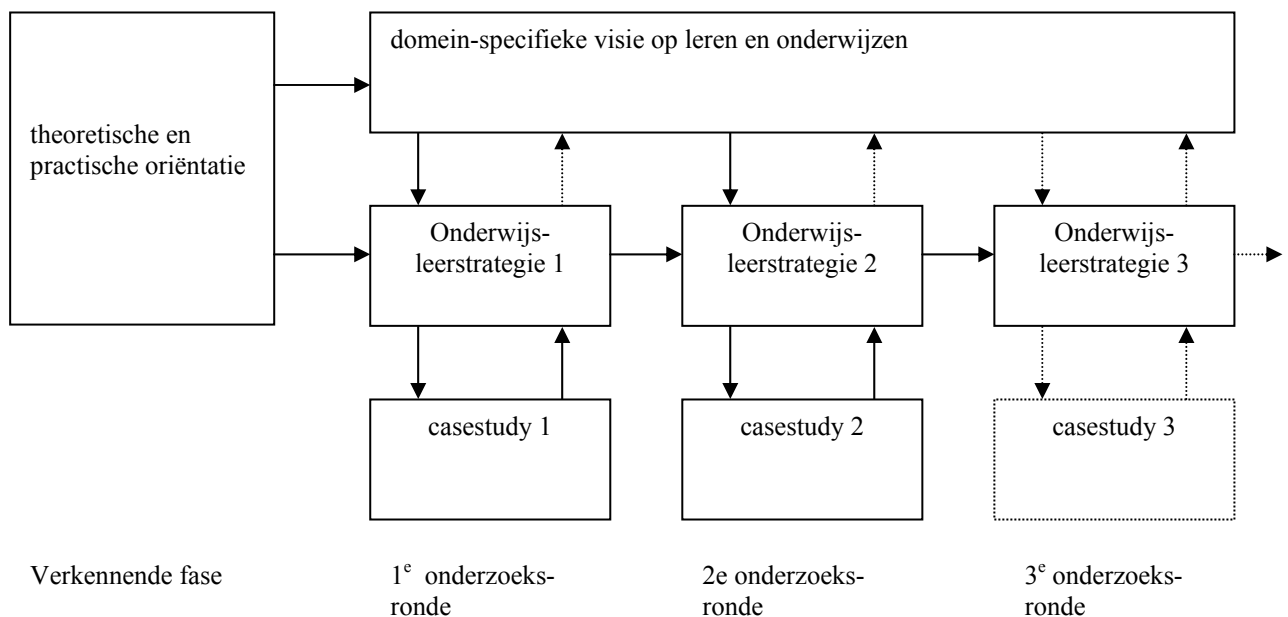
Hierbij wordt gebruik gemaakt van de methode van ontwikkelingsonderzoek (Lijnse, 1995; Boersma e.a., 2002). Dit houdt in dat de onderwijsleerstrategie wordt geconcretiseerd in een scenario dat het beoogde onderwijsleerproces stapsgewijs beschrijft en verantwoordt. Vervolgens wordt nagegaan in hoeverre de uitvoering plaatsvindt zoals bedoeld, en of het beoogde leerproces met de beoogde leerresultaten zijn opgetreden.

1.9 Ontwikkelingsonderzoek

Het onderzoek dat in dit proefschrift wordt beschreven, is aan te duiden als ontwikkelingsonderzoek. Ontwikkelingsonderzoek houdt een cyclisch proces in waarin ontwikkeling en onderzoek elkaar afwisselen (Gravemeijer, 1994; Lijnse, 1995). Het doel

Hoofdstuk 1 Inleiding

ervan is niet primair het ontwikkelen van goed lesmateriaal; de onderzoeksgegevens van het uittesten van het materiaal moeten namelijk bijdragen aan domeinspecifieke didactische theorievorming. Dit houdt in dat in ontwikkelingsonderzoek domeinspecifieke onderwijsleerstrategieën worden ontwikkeld die theoretisch gefundeerd zijn, en dat anderzijds vanuit de empirische toetsing van deze strategieën het theoretisch fundament wordt aangepast en uitgewerkt. Ten behoeve van de toetsing wordt de onderwijsleerstrategie uitgewerkt in een reeks uitvoerig beschreven en verantwoorde onderwijsleeractiviteiten, het scenario. Het scenario bevat per onderwijsleeractiviteit ook de voorspelling over het onderwijsleerproces. Op basis van dit scenario wordt lesmateriaal ontwikkeld zoals werkbladen en docentenhandleidingen. Bij de uitvoering, en zo mogelijk ook al bij de uitwerking van het scenario en het lesmateriaal, wordt samengewerkt met leerkrachten. Aan de hand van de uitvoering van het scenario in de praktijk wordt in tweëerlei zin nagegaan of deze voorspelling uitkomt; enerzijds of de uitvoering plaatsvond zoals bedoeld, anderzijds of het beoogde leerresultaat bereikt is. Het scenario met het lesmateriaal wordt geschreven voor een specifieke situatie, bijvoorbeeld een bepaald leerjaar van een bepaald schooltype. Een casestudy omvat het schrijven van het scenario (inclusief het lesmateriaal), de uitvoering ervan en het begeleidend onderzoek. Op basis van reflectie op de resultaten van de casestudy wordt besloten waar bijstellingen nodig zijn. Dit kan een nieuwe uitwerking van dezelfde onderwijsleerstrategie in een volgend scenario inhouden, of – indien de bijstellingen ingrijpender zijn – een bijstelling van de onderwijsleerstrategie zelf (Boersma e.a., 2002, zie Figuur 1.2 en 1.3.).

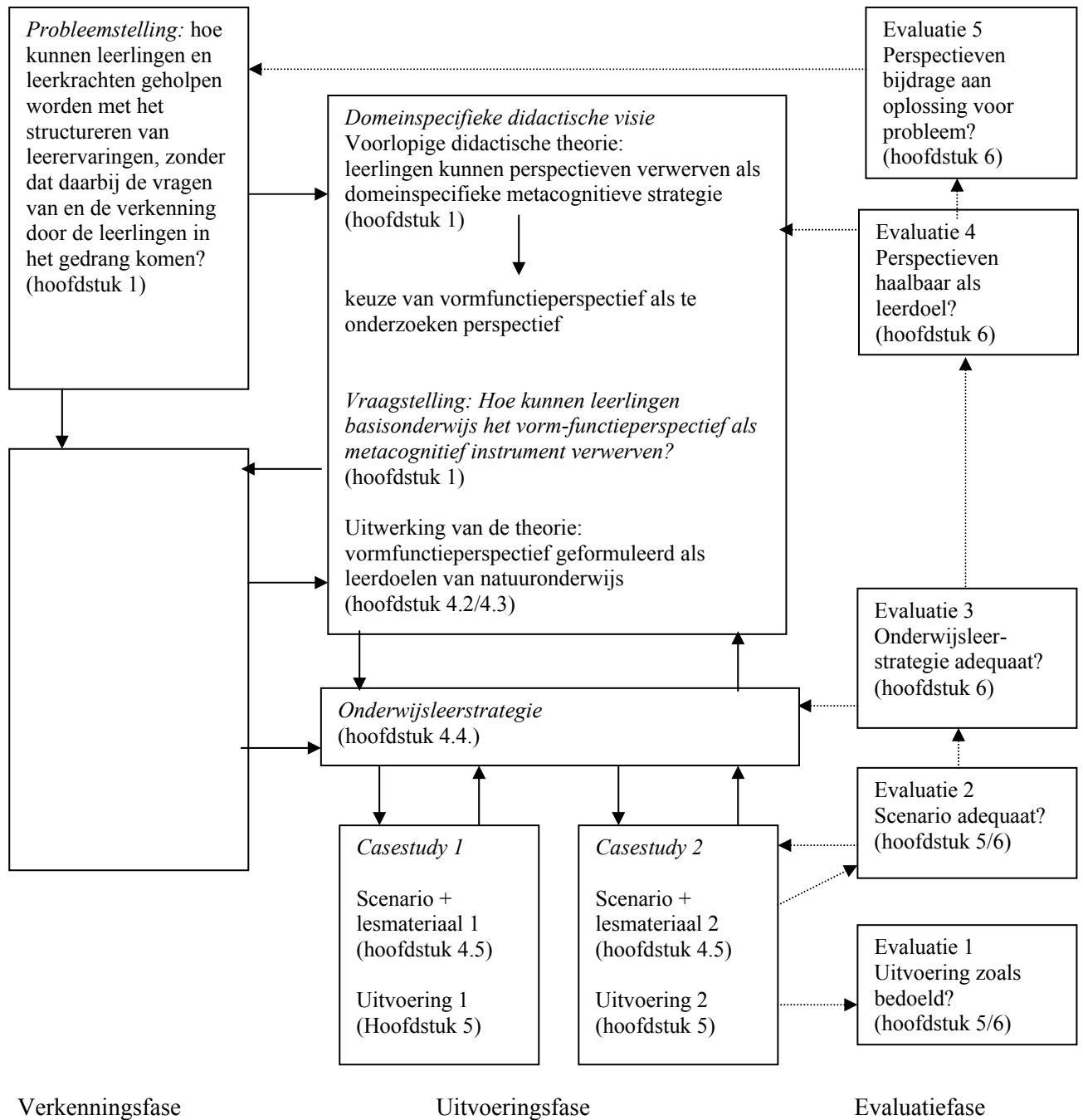


Figuur 1.2 Fasen in het ontwikkelingsonderzoek (Boersma e.a., 2002).

Het hier beschreven onderzoek wijkt af van eerdere onderzoeken die vanuit het Centrum voor Didactiek van de Wiskunde en Natuurwetenschappen zijn verricht. Bij de eerdere onderzoeken (Vollebregt, 1998; Knippels, 2002) is vaak een didactisch probleem het uitgangspunt: er zijn knelpunten in de begripvorming bij leerlingen ten aanzien van een onderwerp dat een vast onderdeel van het leerplan vormt, voor welke knelpunten een

oplossing wordt voorgesteld in de vorm van een onderwijsleerstrategie. In dit onderzoek echter is het probleem waarvoor een oplossing moet worden gevonden vooral een leerplan-probleem, namelijk het probleem dat er geen duidelijke criteria zijn waarmee leerstof en leeractiviteiten voor natuuronderwijs geselecteerd kunnen worden voor de geringe tijd die in het onderwijs beschikbaar is. Tussen dit leerplanprobleem en de onderwijsleerstrategie ligt nog een aantal stappen. Ten eerste wordt in dit onderzoek als oplossing voor het leerplanprobleem voorgesteld om met perspectieven te gaan werken. In tegenstelling tot de eerdergenoemde vakdidactische onderzoeken gaat het hierbij niet om vaststaande onderdelen van het curriculum, maar om een voorstel voor een nieuw element daarin dat nadere uitwerking behoeft. Ten tweede wordt één perspectief gekozen en uitgewerkt in leerdoelen, op basis van theoretisch onderzoek. Dan pas wordt voor het aanleren van dit perspectief een onderwijsleerstrategie opgezet.

Het hier beschreven onderzoek is in het model van ontwikkelingsonderzoek te plaatsen (Figuur 1.3.). De verkenningsfase kent twee ronden. In de eerste ronde wordt vanuit de probleemstelling een voorlopig theoretisch antwoord gegeven. Dit theoretisch antwoord is te beschouwen als een voorlopige didactische theorie en valt onder 'domeinspecifieke visie op leren en onderwijzen'. In de uitwerking hiervan wordt de keuze gemaakt voor het vormfunctieperspectief, waarna weer een verkenningsfase volgt, nu om tot een specifiekere theorie te komen. Deze tweede fase beslaat de onderzoeksvragen 1 en 2, enerzijds uitmondend in het vormfunctieperspectief vertaald als leerdoel van natuuronderwijs, anderzijds in een onderwijsleerstrategie om dit leerdoel te bereiken. Vervolgens wordt via case-studies de onderwijsleerstrategie getoetst. De evaluatie van het geheel vindt plaats op diverse niveaus. Ten eerste wordt nagegaan of het scenario is uitgevoerd zoals bedoeld, en ten tweede of het scenario adequaat is gebleken voor het bereiken van de gewenste leerdoelen. Ten derde kan het zijn dat de oorzaak van onvoorziene problemen niet in het scenario ligt, maar dieper, namelijk in de ontwikkelde onderwijsleerstrategie. Vanuit deze gegevens valt ook verder terug te grijpen naar de vraag waar het onderzoek mee begon, namelijk de vraag of het verwerven van perspectieven haalbaar is voor leerlingen in het basisonderwijs. Tenslotte zal een uitspraak worden gedaan over de vraag of perspectieven een bijdrage kunnen leveren aan het probleem hoe leerervaringen gestructureerd kunnen worden zonder afbreuk te doen aan de eigen vragen van de leerlingen. Met deze laatste uitspraak wordt tevens teruggekomen op de probleemstelling waar het onderzoek mee gestart is.



Figuur 1.3 Fasen in het onderzoek naar het vormfunctieperspectief.

1.10 Inhoud van dit proefschrift

Hoofdstuk 1 bevat de aanleiding tot en de achtergronden voor dit onderzoek, uitmondend in een vraagstelling en een drietal daarvan afgeleide onderzoeksvragen.

In Hoofdstuk 2 wordt de eerste onderzoeksvraag beantwoord. Hierin wordt een analyse gemaakt van het vorm-functieperspectief in biologisch onderzoek en in technisch ontwerpen. Door deze met elkaar te vergelijken wordt nagegaan of deze geïntegreerd kunnen worden tot één perspectief.

Hoofdstuk 3 beschrijft het onderzoek naar de vraag hoe het vormfunctieperspectief kan worden verworven (onderzoeksvraag 2). Aan de hand van literatuur worden criteria ontwikkeld waaraan een onderwijsleerstrategie moet voldoen die gericht is op het verwerven van het vormfunctieperspectief.

In hoofdstuk 4 is de onderwijsleerstrategie geformuleerd en wordt op basis van deze strategie het scenario ontwikkeld waarmee de strategie empirisch getoetst wordt.

Hoofdstuk 5 geeft aan op welke wijze het scenario is uitgetest en via welke methoden gegevens zijn verzameld om na te gaan of het scenario adequaat is (onderzoeksvraag 3).

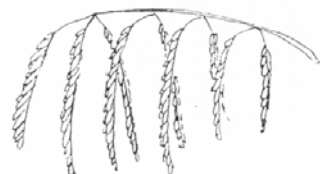
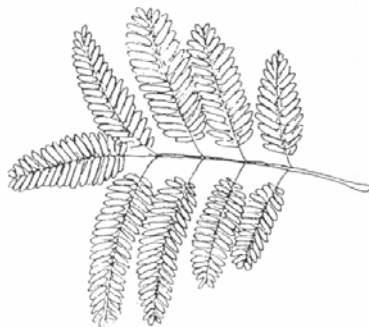
Hoofdstuk 6 bevat de discussie naar aanleiding van de resultaten van onderzoeksvraag 3, uitmondend in een voorstel voor een gewijzigde onderwijsleerstrategie. Tevens wordt daarin besproken in hoeverre de categorieën uit het vormfunctieperspectief een bruikbaar instrument zijn gebleken om uitspraken en producten van leerlingen mee te analyseren. Tenslotte wordt besproken welke bijdrage het onderzoek heeft geleverd aan nieuwe vakdidactische theorie, en wat de opbrengst is voor de onderwijs- en opleidingspraktijk.

Hoofdstuk 1 Inleiding

Hoofdstuk 2

Vorm en functie in de biologie en in technisch ontwerpen

- 2.1. Inleiding
- 2.2. Vorm en functie in de biologie
 - 2.2.1. Werkwijze
 - 2.2.2. Historisch overzicht
 - 2.2.3. Begrippen
 - 2.2.4. Vorm en functie in biologisch onderzoek
 - 2.2.5. Kenmerken van het vormfunctieperspectief in biologisch onderzoek
- 2.3. Vorm en functie in technisch ontwerpen
 - 2.3.1. Werkwijze
 - 2.3.2. Vorm en functie van ontworpen producten
 - 2.3.3. Het ontwerpproces
 - 2.3.4. Heuristieken bij ontwerpen
 - 2.3.5. Het vormfunctieperspectief in technisch ontwerpen
- 2.4. Naar een gemeenschappelijk model
 - 2.4.1. Ontwerpen versus onderzoeken
 - 2.4.2. Intentioneel versus niet-intentioneel
 - 2.4.3. Het gemeenschappelijk model
 - 2.4.4. Heuristieken in het gemeenschappelijk model
 - 2.4.5. Overeenkomst in heuristieken
 - 2.4.6. Conclusie



2.1 Inleiding

Hoofdstuk 2 van dit proefschrift beschrijft hoe biologen en technisch ontwerpers de vormfunctierelatie gebruiken bij het stellen van vragen en het vinden van oplossingen. Het gaat dus om het beantwoorden van de eerste vraagstelling van dit onderzoek.

Paragraaf 2.2 bevat de analyse van het vormfunctieperspectief in biologisch onderzoek. Eerst wordt een kort overzicht gegeven van de historische ontwikkeling van de vormfunctierelatie in het denken en handelen van biologische onderzoekers. Vervolgens wordt een uitwerking gegeven van de verschillende betekenissen van de termen vorm en functie, en van verwante termen als adaptatie, doel en ontwerp. Hierbij is een poging gedaan tot verheldering en systematisering door middel van schema's. Daarna volgt een analyse van het belang van het vormfunctieperspectief voor de ontwikkeling van kennis in biologisch onderzoek. Hierbij wordt nagegaan welke heuristische gebruiken van de vormfunctierelatie, en wordt een model ontwikkeld waarin de relaties tussen vorm en functie die bij deze heuristieken worden gehanteerd in verband worden gebracht.

Paragraaf 2.3 bevat de analyse van het vormfunctieperspectief bij technisch ontwerpen. Ook hier wordt nagegaan welke betekenissen aan de begrippen vorm en functie worden gegeven, en welke heuristieken worden gehanteerd bij het technisch ontwerpen. Ook hier wordt een model ontwikkeld van de vormfunctierelatie.

In paragraaf 2.4 worden de overeenkomsten en verschillen tussen technisch ontwerpen en biologisch onderzoek beschreven voor wat betreft het hanteren van de relaties tussen vorm en functie. Uiteindelijk wordt een algemeen model van het vormfunctieperspectief ontwikkeld. De heuristieken die zijn beschreven worden binnen dit model geplaatst en vergeleken.

2.2 Vorm en functie in de biologie

2.2.1 Werkwijze

Het historisch overzicht is opgesteld vanuit literatuurstudie van overzichtswerken (Russell, 1916; Bodenheimer, 1958; Beckner, 1968; Ruse, 1973; Hooykaas, 1976; Rosenberg, 1985; Sober, 1993; Zeiss, 1995; Theunissen & Visser, 1996; Mayr, 1988,1999). In deze literatuur is specifiek gezocht naar de wijze waarop de relatie tussen vorm en functie is verklaard in diverse fasen in de ontwikkeling van het biologisch onderzoek. Daarnaast zijn er gesprekken gevoerd met dr.R.P.W.Visser, hoogleraar Geschiedenis van de Biologie aan de Katholieke Universiteit Nijmegen, en dr.A.Wouters, gepromoveerd op functionele verklaringen in de biologie.

Voor de betekenis van de verschillende begrippen en de huidige discussie daarover is grotendeels geput uit de bundel 'Nature's Purposes' uit 1998. Dit is een recent overzicht van het denken over functie en ontwerp in de biologie, waarin 22 artikelen zijn gebundeld die vanaf de jaren '60 tot heden van grote invloed zijn geweest op de discussie hierover (Allen, Bekoff & Lauder, 1998). Daarnaast is het artikel van Gould en Lewontin (1979) gebruikt om een overzicht te maken van situaties waarin vormen niet verklaard kunnen worden als aanpassing door natuurlijke selectie. Van het proefschrift van Wouters (1999)

is gebruik gemaakt bij de analyse van het begrip functie en van de heuristieken binnen het vormfunctieperspectief.

De vraag waar het in dit onderzoek uiteindelijk om gaat is of het vormfunctieperspectief als instrument kan fungeren voor het ontwikkelen van biologische en technische kennis bij basisschoolleerlingen. Om die vraag te kunnen beantwoorden, dienen we te weten of het vormfunctieperspectief in biologisch onderzoek van nut is geweest in het formuleren van onderzoeksvragen en in het vinden van een antwoord op deze vragen. Hiertoe worden twee deelvragen onderscheiden:

1. Heeft het vormfunctieperspectief heuristische waarde voor de ontwikkeling van kennis in biologisch onderzoek?
2. Indien het vormfunctieperspectief deze waarde heeft, welke heuristieken worden dan gehanteerd?

De eerste vraag is onderzocht door gericht naar voorbeelden te zoeken van onderzoek waarin het vormfunctieperspectief aan te tonen is. Hierbij is niet naar volledigheid gestreefd, maar is geprobeerd om voorbeelden te vinden op verschillende biologische organisatieniveaus. Als voorbeelden van het gebruik van het vormfunctieperspectief zijn hypothesen, vraagstellingen, argumentaties of verklaringen verzameld waarin de relatie tussen vorm en functie impliciet of expliciet de kern vormt. Vergelijkbare vragen met een vergelijkbare aanpak zijn te zien bij Resnik (1995).

De vraag welke heuristieken gehanteerd worden is als volgt aangepakt: vanuit beschrijvingen van onderzoek is geïnterpreteerd of daar de relatie tussen vorm en functie een heuristiek heeft opgeleverd die in het betreffende onderzoek is toegepast. De gevonden heuristieken zijn met elkaar vergeleken en geordend in een model. Tenslotte is dit model getoetst door via een interview met een ervaren functioneel morfoloog na te gaan of vergelijkbare heuristieken van toepassing waren op eigen en verwant onderzoek. De vraag bij dit interview was: "Hebben in het onderzoek van Uw onderzoeksgroep heuristieken zoals hier beschreven een rol gespeeld, en zo ja, op welke wijze?"

2.2.2 Historisch overzicht

Het inzicht dat vorm en functie bij levende wezens een nauwe relatie hebben kan beschouwd worden als het identiteitsbewijs van biologie als afzonderlijk terrein van onderzoek.

Over de aard van deze relatie lopen de gedachten echter uiteen, tot op de dag van vandaag. Er zijn vier typen verklaringen mogelijk in een situatie waarin twee factoren A en B (in dit geval vorm en functie) gecorreleerd zijn;

1. A veroorzaakt B (vorm veroorzaakt/ bepaalt functie)
2. B veroorzaakt A (functie veroorzaakt/ bepaalt vorm)
3. A en B worden beide veroorzaakt door C (vorm en functie beide veroorzaakt door andere factor)
4. A veroorzaakt B en B veroorzaakt A (vorm en functie bepalen elkaar wederzijds)

Het ligt voor de hand om hier met Aristoteles (384-322 v.Chr.) te beginnen, omdat hij een enorm stempel heeft gedrukt op de biologie. Hij onderscheidde vier typen oorzaken die tezamen een verschijnsel verklaren, te weten (Charlton, 1970):

Hoofdstuk 2 Vorm en functie in de biologie en in technisch ontwerpen

- De materiële oorzaak ('waar het uit bestaat')
- De formele oorzaak ('wat de eindbestemming is')
- De werkoorzaak ('wat het doet veranderen of gelijk blijven'), dus de directe veroorzaking
- De doelloorzaak ('waartoe het dient'), dus de functie.

De doelmatigheid verklaart in zijn visie dus mede de vorm. We spreken in dit verband van een finale of teleologische verklaring. Hoewel Aristoteles daarmee nog niet zegt dat de doelgerichtheid de vorm ook *veroorzaakt* is wel duidelijk dat de functie een rol heeft in het bestuderen van organismen. Voor Aristoteles is de doelgerichtheid zo essentieel dat deze volgens hem ook bij niet levende verschijnselen te vinden is en als verklaring dient voor bewegingen.

In de zeventiende eeuw krijgt de mechanistische filosofie veel invloed op het denken in de natuurwetenschappen. Organismen worden daarbij gezien als machines, waarbij het bestaan van een niet-materieel principe ofwel werd ontkend, ofwel geen plaats had in de verklaring van de verschijnselen. De beschrijving van de werking van het hart als pomp door Harvey is daarvan het schoolvoorbeeld, hoewel Harvey zelf niet tot de mechanistische denkers kan worden gerekend¹. De functie of doelgerichtheid is daarmee geen aparte kracht meer, maar het uitgangspunt waarvan de Schepper is uitgegaan, en waar vervolgens vormen bij geschapen zijn om deze functies te vervullen. Daarmee blijft dus wel de functie voorafgaan aan de vorm. De relatie tussen vorm en functie is zo in het oog springend en bewonderingwekkend, dat deze in de zogenaamde 'natuurlijke theologie' is gebruikt als argument om de perfectie van de schepping en de werkzaamheid van een scheppende God aan te tonen (Zeiss, 1995). Het boek 'Evidences of Christianity' van Paley stond op Darwins lijst van te bestuderen boeken in zijn theologiestudie (Barlow, 1958). Bij Kant (1724-1804) en diens volgelingen wordt een soort synthese gezocht tussen de mechanistische onderzoeksmethodiek en de teleologische benadering van organismen. Hierbij komt de doelgerichtheid als aparte factor weer terug. De doelgerichtheid wordt daarbij - analoog aan de zwaartekracht - gezien als een kracht die niet direct te benaderen is, maar alleen via zijn invloed is te bestuderen. De onderzoeksmethodiek volgt verder de mechanistische werkwijze. Dit wordt aangeduid als teleomechanisme. Zowel de idee van een onfeilbare scheppende kracht als de aanname van volledige doelmatigheid in de natuur leidden tot de conclusie dat vorm en functie een één op één relatie hebben, zodat door zorgvuldige studie van de vorm de functie ervan was af te leiden. De situatie was hiermee vergelijkbaar met het vanuit een artefact achterhalen van de bedoelingen van de ontwerper.

De vooruitgang in de vergelijkende morfologie rond 1800 bracht nieuwe gegevens aan het licht waarmee duidelijk werd dat er zowel overeenkomsten in grondplan, als verschillen in uitwerking daarvan bestonden. Ook bij de verklaring van deze eenheid en verscheidenheid kwam opnieuw de vraag aan de orde of de vorm ofwel de functie hierbij het primaat had. Dit debat bereikte rond 1830 zijn hoogtepunt in een controversie tussen Cuvier en Geoffroy St.Hilaire. Voor Geoffroy St.Hilaire stond het bouwplan centraal. Volgens hem legde het

¹ Vòòr Harvey was de functie die aan het hart werd toegeschreven die van het mengen en verwarmen van bloed vanuit de lever met lucht vanuit de longen tot bloed met levenskracht. Bij deze functie hoorde een bouw waarbij bloed door poriën van de rechter- naar de linkerkant van het hart drong. Uit Harvey's onderzoek naar de anatomie van de bloedsomloop en zijn berekeningen over de hoeveelheid te transporteren bloed leidde hij af dat de functie van het hart een voortdurend rondpompen van bloed moet zijn (Bodenheimer, 1958).

bouwplan de vormen grotendeels vast en vervolgens bepaalden de vormen op welke wijze de levensfuncties ermee konden worden uitgevoerd; de vorm bepaalt de functie. Cuvier redeneerde andersom en concludeerde – in navolging van Aristoteles - dat de functie aan de vorm voorafgaat. De overeenkomsten in bouwplan waren volgens Cuvier juist het gevolg van de noodzaak dezelfde functies uit te kunnen voeren; de functie bepaalt de vorm (Theunissen & Visser 1996; Hooykaas, 1976). Beide benaderingen kwamen overigens overeen in het streven naar een eenheid in de verscheidenheid aan vormen. Dit streven werd mede gestimuleerd door Newtons' succesvolle pogingen in de natuurkunde eenheid te brengen in een veelheid aan verschijnselen. Russell vat de controverse tussen Cuvier en St Hilaire als volgt samen: "Is function the mechanical result of form, or is form merely the manifestation of function or activity? What is the essence of life - organisation or activity?" (Russell, 1916; p.ix)

De publicatie en acceptatie van Darwins evolutietheorie in de tweede helft van de 19^e eeuw veranderde in eerste instantie niet veel aan deze opvattingen over morfologisch onderzoek. Beide konden eenvoudig geïntegreerd worden in de evolutietheorie. Opvattingen aangaande de eenheid van bouwplan pasten in de ideeën over gemeenschappelijke afstamming. De functionele opvattingen pasten bij de studie van aanpassing door natuurlijke selectie en verschijnselen als convergente aanpassing². "The current morphology, Darwin found, could be taken over, lock, stock and barrel, to the evolutionary camp" (Russell, 1916: p.247). Wel verdween na Darwin deels de verklarende rol van de functie ten opzichte van de vorm. De ongerichte variatie aan vormen gaat immers vooraf aan het proces van natuurlijke selectie dat de optimaal functionerende vorm er uit kiest. Daardoor verloor de vorm eveneens de rol van betrouwbare voorspeller van de functie. Functies werden niet meer onderzocht door studie van de vormen, maar op hun werking. Het onderzoek naar functies kwam daardoor in het gebied van de fysiologie terecht. Daar heerste al een mechanische traditie, waarin alleen causale verbanden een rol speelden. Vormen werden vooral nog onderzocht in de embryologie en in afstammingsreeksen, waarin het vooral om de transformatie van de vorm ging, en niet meer over de functie. Vormonderzoek en functieonderzoek raakten daardoor van elkaar gescheiden. Het vervangen van een doelgericht scheppende oorzaak door een 'blind proces' van aanpassing door natuurlijke selectie bracht ook met zich mee dat getwijfeld werd aan het bestaansrecht van functionele vragen en verklaringen. Dit gold met name in de hoogtijdagen van het logisch positivisme in de eerste helft van de 20^e eeuw. Waar in de natuurkunde al eerder schoon schip was gemaakt met doelen, functies en andere 'achteruitwerkende' oorzaken, was nu de beurt aan de biologie om deze achterhaalde verklaringsmodellen over boord te zetten. Het onderzoek van ondermeer Tinbergen heeft echter duidelijk gemaakt dat functies wel degelijk een verklarende waarde kunnen hebben, en als hypothese zelfs experimenteel toetsbaar zijn (Tinbergen, 1965). De vraag naar de functie van een gedrag bleek te vertalen in experimenten waarin de overlevingswaarde van een gedrag werd vastgesteld. De functie verklaart een verschijnsel op een andere wijze dan via de veroorzaking. Een functionele verklaring houdt in dat begrijpelijk wordt waarom het verschijnsel door natuurlijke selectie is begunstigd doordat de overlevingswaarde ervan wordt bewezen. Tinbergen formuleerde vier vragen die ten aanzien van een biologisch fenomeen zijn te stellen (Tinbergen, 1963):

² Met convergente aanpassing wordt bedoeld dat organismen overeenkomsten vertonen die niet het gevolg zijn van gemeenschappelijke afstamming, maar van aanpassing aan gelijksoortige omgevingsfactoren (bijvoorbeeld de gelijkenis in vorm tussen dolfijnen en haaien).

Hoofdstuk 2 Vorm en functie in de biologie en in technisch ontwerpen

- Wat veroorzaakt het
- Wat is de overlevingswaarde (dit is dus de vraag naar de functie)
- Waaruit is het ontstaan in de fylogenetische ontwikkeling (de evolutie)
- Waaruit is het ontstaan in de ontogenetische ontwikkeling (de embryonale ontwikkeling)

Mayr (1961) maakt binnen de biologie een onderscheid in twee velden van onderzoek. Hij onderscheidt de functionele biologie, die zich met 'how'-vragen bezighoudt, waarbij bestudeerd wordt hoe het genetisch programma uiteindelijk vertaald wordt in het fenotype. Daarnaast onderscheidt hij de evolutionaire biologie, waarin 'why'-vragen centraal staan, en waarin de ontstaansgeschiedenis van het genetische programma wordt bestudeerd. Het is hier dus juist de 'evolutionaire biologie' en niet de 'functionele biologie' die zich met de vraag naar de functie bezighoudt! Beide velden van biologie houden zich met causaliteit bezig, maar bij de functionele biologie gaat het om 'proximale causaliteit', de directe oorzaak-gevolgrelaties, en bij evolutionaire biologie om 'ultimate causaliteit', welke verklaart waardoor bepaalde genetische programma's in de evolutie zijn ontstaan en behouden. Een dergelijke redenering vinden we terug in de opvattingen over functie als geselecteerd effect in paragraaf 2.2.4.

Hoewel de discussie nog niet verstomd is, zijn functionele verklaringen en onderzoeken naar functies weer geaccepteerd. De verwachting dat de reductie van biologische verschijnselen tot chemische en fysische processen zou leiden tot het verdwijnen van functionele vragen en verklaringen is niet uitgekomen. De opkomst van de moleculaire biologie leidde juist tot een nieuwe opbloei van onderzoek waarin de relatie tussen vorm en functie weer centraal staat (Rosenberg, 1985). Paragraaf 2.2.4 bevat voorbeelden hiervan.

De vraag is nu hoe we de relatie tussen vorm en functie in de huidige biologie moeten karakteriseren. Eén mogelijkheid is om deze onder te brengen bij type 3: een derde factor (de natuurlijke selectie) veroorzaakt de relatie tussen vorm en functie. Hierbij krijgt de natuurlijke selectie de rol die de Schepper binnen de natuurlijke theologie bezat. Het essentiële verschil tussen scheppen en evolueren zit echter in het uitgangsmateriaal; scheppen geschiedt uit het niets, evolueren verloopt vanuit een reeds bestaande vorm. De vraag in welke mate een vorm enerzijds bepaald wordt door de voorafgaande en omringende vormen, en anderzijds door natuurlijke selectie op een bepaalde functie, is onderwerp van een recente discussie waarbij de geesten van Cuvier en St Hilaire geïnteresseerd zullen toekijken. De vraag of vorm ofwel functie het primaat heeft is nu genuanceerd tot de vraag of *elke* vorm via natuurlijke selectie op een bepaalde functie tot stand is gekomen. Degenen die hier bevestigend op antwoorden gaan uit van een vormfunctierelatie van type 2: de functie bepaalt de vorm. Een gevolg van deze 'adaptionistische' denkwijze is de basisveronderstelling dat aan elke vorm in principe een functie verbonden is (Dennett, 1995) of zelfs dat organismen bestudeerd kunnen worden als optimale ontwerpen, waarbij de term ontwerp als metafoor moet worden gezien (Weibel, Taylor & Bolis, 1998). Critici van deze opvatting geven vele voorbeelden van vormveranderingen die door andere oorzaken dan natuurlijke selectie op een bepaalde functie zijn ontstaan. Aan sommige vormen is helemaal geen aanwijsbare functie verbonden. Bij andere vormen is de functie een *secundair* gevolg van de vorm. Bij deze laatste voorbeelden geldt dus juist dat de vorm de functie bepaalt of minstens beperkt, al wordt de rol van natuurlijke selectie uiteraard niet ontkend (Gould & Lewontin, 1979). In

paragraaf 2.2.3 wordt nader op deze voorbeelden ingegaan. Een belangrijk aspect van de kritiek van Gould en Lewontin op de adaptivistische zienswijze is dat deze niet falsifieerbaar is. Indien een vorm niet de functie blijkt te hebben die men dacht, kan men altijd weer een andere functie bedenken of aannemen dat er nog te weinig bekend is om de juiste functie te kunnen vinden. Sober (1993) stelt echter dat door een nadere specificatie van de adaptivistische claims er wel testbare hypothesen en precieze voorspellingen kunnen worden gedaan. Zo kan een mechanische voorspelling over de bouw en sterkte van een structuur worden vergeleken met de werkelijke structuur (Voogt & Fockens, 1996). Bovendien kan ook bepaald worden of de voorbeelden van 'non-adaptaties' zoals Gould en Lewontin die noemen uitzonderingen zijn of vaak voorkomen. Ook dat levert een vorm van toetsing van het adaptivistische model op. Adaptivisme is volgens Sober meer een researchprogramma, dat niet op elk moment falsifieerbaar hoeft te zijn, maar waarvan de waarde moet blijken uit de verklaringen die dit programma kan opleveren.

Een ander, en misschien fundamenteeler verschil van mening dat in deze discussie een rol speelt, is de vraag of een organisme al of niet te verdelen is in afzonderlijke kenmerken die afzonderlijk genetisch zijn vastgelegd. Volgens Mayr is veel van de kritiek van Gould en Lewontin meer gericht op het te weinig acht slaan op het totale genotype en betreft niet zozeer het adaptivistische programma. Voor het laatste geeft Mayr aan dat - mits zorgvuldig uitgevoerd - dit programma grote heuristische waarde heeft (Mayr, 1983). Ook Dennett (1996) geeft aan dat de 'intentional stance' een perspectief is dat nodig is om voorspellingen te kunnen doen over het gedrag van doelgerichte systemen en niet wil beweren dat ook in werkelijkheid alle vormen door hun functie bepaald worden. De discussie lijkt dus terug te voeren tot de vraag of het uitgangspunt dat aan elke vorm een functie verbonden is, gebruikt wordt om de werkelijkheid te beschrijven (ontologisch), of gebruikt wordt als middel om nieuwe informatie te vinden (heuristisch).

Terugkijkend op het voorgaande kan worden geconcludeerd dat nog steeds verschillende ideeën bestaan over de relatie tussen vorm en functie. Het vierde type relatie waarbij vorm en functie elkaar wederzijds beïnvloeden in een cyclisch of spiraalvormig proces lijkt het meest recht te doen aan de complexiteit van de natuur. In de volgende paragraaf gaan we nader in op de betekenissen van de begrippen vorm en functie.

2.2.3 Begrippen

Vorm

Bij de uitwerking van het begrip vorm kan een onderverdeling worden gemaakt in structuren en processen. Daarnaast kunnen vormen op verschillende organisatieniveaus worden onderscheiden. Bock en Von Wahlert (1965) geven een brede definitie: "The form of a feature is simply its appearance, configuration, and so forth." Deze definitie maakt dus een onderscheid tussen 'feature' (kenmerk) en 'form'. De vorm is een aspect van een kenmerk, en komt in betekenis overeen met 'verschijningsvorm'. In de morfologie is de vorm (form) dan zichtbaar als de uiterlijke vorm (shape), terwijl in de ethologie onder vorm zaken vallen als het gedragspatroon, inclusief de betrokken structuren, beweging, intensiteit en dergelijke. Bock & Von Wahlert maken ook een scheiding tussen de begrippen 'structure' en 'form'. Hoewel in de praktijk deze begrippen vaak door elkaar worden gebruikt beschouwen Bock en Von Wahlert 'structuur' in een bepaalde betekenis. Dit kan het beste worden toegelicht via het verschil tussen 'een structuur zijn' en 'een

structuur hebben'. Een voorbeeld van het eerste geval is de uitspraak 'de iris *is* één van de structuren waaruit het oog is opgebouwd', een voorbeeld van het tweede 'de iris *heeft* een structuur die overeenkomt met de bouw van het diafragma in een fototoestel'. In de laatste betekenis komt de inhoud van 'structuur' overeen met die van 'vorm', namelijk een speciale configuratie van een kenmerk. Het is dus helderder om, met Bock en Von Wahlert de term structuur te reserveren voor de eerste betekenis, al wijst het dagelijks spraakgebruik in een andere richting. De morfologie onderzoekt dus de vorm van structuren, en de tweede voorbeeldzin hierboven zou herschreven moeten worden als 'de iris heeft een *vorm* die overeenkomt met de bouw van het diafragma in een fototoestel'. Bock en Von Wahlert wijzen er ook op dat morfologische kenmerken meer dan één vorm kunnen hebben. Een spier is een duidelijk voorbeeld van een orgaan met meerdere vormen. Hierbij is het proces van de contractie weer te beschouwen als een overgang van de ene vorm in de andere. Zowel de structuur van de spier als het proces van de contractie zijn aspecten van de vorm. Het onderscheid tussen structuren en processen is vaak niet zo scherp, vooral als processen beschouwd worden als veranderingen in structuren.

Uit het voorbeeld van de spier is ook af te leiden dat op verschillende organisatieniveaus van 'vorm' sprake kan zijn. Myosine, myofibrillen, spiercellen en spierweefsel vertonen alle structuren en processen op hun betreffende organisatieniveau. Rosenberg (1985) zet uiteen dat bij moleculaire componenten zeer duidelijk sprake is van een vorm-functie relatie. In elk geval lijkt dus vanaf het moleculaire niveau tot en met het organismale niveau de term 'vorm' van betekenis. Een volgende vraag is of ook op hogere niveaus dan het organismale niveau van 'vorm' sprake kan zijn. Zeer zeker is boven het organismale niveau sprake van structuren en processen, zoals patronen van een oevervegetatie, sociaal gedrag bij dieren en cycli van elementen in de biosfeer. Er lijkt dus vooralsnog geen reden om de term 'vorm' daar niet op van toepassing te laten zijn. Hoe dit voor het begrip functie ligt zal in het volgende onderdeel van deze paragraaf worden uitgewerkt. Bij Bock en Von Wahlert ligt de bovengrens voor het begrip vorm bij het organismale niveau. Aansluitend bij deze analyse wordt in Tabel 2.2.1 een voorstel voor een uitwerking van het begrip vorm gegeven. Hierbij wordt de volgende definitie van het begrip vorm gehanteerd:

Vorm is de verschijningsvorm in ruimte, materiaal en tijd van een kenmerk, waarbij een kenmerk een structuur of een proces kan zijn.

Voorbeeld van een vorm: de bladeren van de watapanaboom (*Caesalpinia coriaria*, beter bekend als *dividivi*) vouwen zich 's nachts en bij grote droogte op (Figuur 2.2.1). Uit dit voorbeeld wordt ten eerste duidelijk dat de vorm waar het hier om gaat zowel een structuur (blad) als een proces (opvouwen) betreft. Ten tweede blijkt hieruit dat sommige vormen zich alleen onder bepaalde condities ('s nachts, bij droogte) voordoen.

Tabel 2.2.1 Betekenissen van het begrip vorm.

VORM= Verschijningsvorm in ruimte, materiaal en tijd van een kenmerk hetgeen kan bestaan uit één of meerdere van onderstaande componenten	
STRUCTUREN	PROCESSEN
Moleculen	(Bio)chemische processen
Celorganellen	Biochemische/celfysiologische processen
Cellen	Celfysiologische processen
Weefsels	Fysiologische processen
Organen	Fysiologische processen/gedrag ³
Organismen	Gedrag
Populaties	Populatiodynamische processen
Ecosystemen	Systeemdynamische processen
Biosfeer	Processen op biosfeerniveau

Zolang dit schema abstract blijft, lijkt het beschrijven van de vorm van een structuur of proces niet erg problematisch. Zodra men echter probeert een specifieke structuur te beschrijven of zelfs maar te noemen, verschijnen er problemen ten aanzien van zowel de aanduiding als de afgrenzing. Wat betreft de aanduiding van de vorm lijkt dit soms niet goed mogelijk zonder kennis van of een hypothese over de functie. Veel structuren hebben namen waarin hun veronderstelde functie al wordt aangeduid, zoals zwemvliezen en voelsprietten. De vorm van een zwemvlies beschrijven los van de functie lijkt onwerkelijk. De uitspraak ‘Voelsprietten bij insecten dienen om te voelen’ is daarentegen gewoon fout, omdat veel van de structuren die zo worden genoemd een functie vervullen bij het waarnemen van feromonen. Maar de problemen zitten niet alleen bij een al dan niet neutrale naamgeving. Het is eerder zo dat de kennis van het kenmerk de bijbehorende waarneming en dus de bijbehorende vorm genereert. Veel onderzoekers hadden al naar cellen gekeken zonder ze als aparte entiteit te benoemen en dus te zien, voordat de cel door Schwann geformuleerd werd als een stabiele structuur met een eigen organisatieniveau (Russell, 1916). Vormen zijn altijd ‘theoriegeladen’ waarnemingen (Koningsveld, 1976). Een beschrijving van een vorm is altijd een *selectie* uit de mogelijke waarnemingen. De kleur van botten, de smaak van veren of het geluid van herkauwen komen niet in de beschrijvingen van deze verschijnselen voor omdat aangenomen wordt dat deze waarnemingen niet relevant zijn (totdat het tegendeel wordt bewezen). Bovendien kunnen bepaalde aspecten van de vorm irrelevant zijn voor de functie, maar relevant voor

³ Met de term ‘gedrag’ worden hier de verschijnselen bedoeld die door de ethologie worden bestudeerd. De scheiding tussen ‘fysiologische processen’ en ‘gedrag’ is in werkelijkheid niet zo scherp als het verschil in termen suggereert.

de correcte taxonomische indeling van een organisme. Het is dus de vraag of je wel van een ‘zuivere morfologie’ kunt spreken. Ook Beckner geeft aan dat morfologische concepten niet los kunnen staan van de fysiologie, en dus van de functie van de structuren (Beckner, 1968). Een goed voorbeeld van deze theoriegeladenheid zijn de miniscule uitsteeksels op een botje van een van de voorlopers van de vogels, de *Protoavis texensis*. De ontdekker daarvan, Sankar Chatterjee, beschrijft deze uitsteeksels als aanhechtingsplaatsen voor veren (Chatterjee, 1997). Zonder deze functietoewijzing is het de vraag of deze uitsteeksels als structuur onderkend zouden worden; niet iedereen ziet ze dan ook.

De relatie van de vorm met de functie roept ook het probleem op van de afgrenzing van een structuur en aanduiding van de bijbehorende vorm. De beschrijving van de vorm van de tong kan verschillende zaken opleveren. ‘Vorm’ kan immers de opbouw van deelweefsels in de tong inhouden, maar ook de spierbewegingen van de tong. De spierbewegingen voor het slikken zijn geheel anders dan die voor het spreken, en worden ook deels door andere delen van de hersenen gestuurd. Heeft de tong nu één vorm met twee functies? Of zijn er evenveel vormen als functies en heeft de mens dus twee tongen? De vraag die dit alles oproept is of je van een vorm kunt spreken onafhankelijk van de functie. Op dit punt komen we nog vaker terug.

Tenslotte is er nog een tweede probleem ten aanzien van de afgrenzing. De kin is een duidelijk aanwijsbaar onderdeel van het menselijk gezicht. Bij naaste verwanten van de mens ontbreekt deze vorm. De kin is echter niet als aparte structuur in de evolutie ontstaan, maar is het indirecte gevolg van de veranderde groei van de omringende schedelbeenderen (Lewontin, 1978). Embryologisch en evolutionair gezien is de kin dus geen afzonderlijke vorm. De vraag die bij dit probleem hoort is of je van een vorm kunt spreken onafhankelijk van de ontstaansgeschiedenis en onafhankelijk van het geheel waar de vorm deel van uitmaakt.

Theorieën over de vorm hoeven overigens niet altijd betrekking te hebben op de functie. Ook theorieën over verwantschap en homologie kunnen het zoeken naar en beschrijven van vormen sturen. Het onderzoek van Von Goethe, die de term ‘morfologie’ introduceerde, is hiervan een duidelijk voorbeeld. Zijn vondst van het tussenkaakbeen bij de mens was het resultaat van een specifieke zoektocht op basis van een specifieke hypothese (Russell, 1916).

Functie

Het begrip functie wordt door biologen op verschillende wijze gebruikt, en doorgaans worden deze niet duidelijk van elkaar gescheiden. Wouters (1999) onderscheidt vier typen, die sterk verbonden zijn met verschillende typen verklaringen die men met behulp van het functiebegrip wil geven⁴. Deze vier typen zijn:

1. Functie als activiteit
2. Functie als causale rol
3. Functie als overlevingswaarde
4. Functie als geselecteerd effect

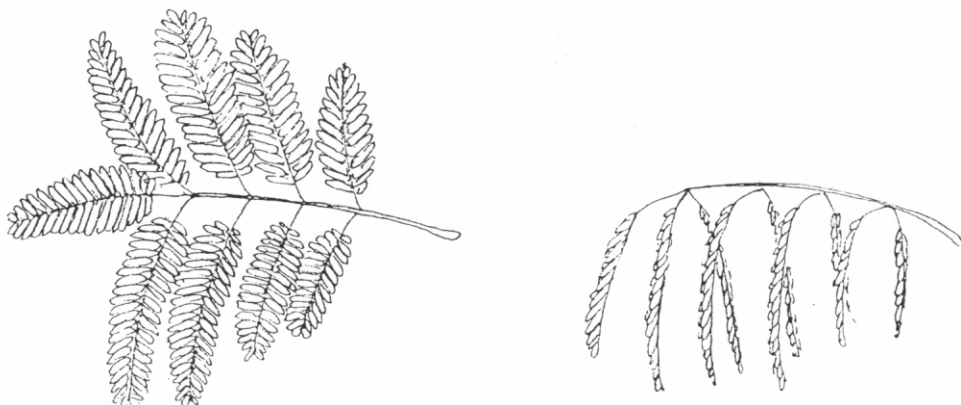
Functies zijn gekoppeld aan structuren of processen. In onderstaande tekst wordt voor de combinatie van deze twee begrippen het begrip ‘kenmerk’ gebruikt. Wouters gebruikt voor structuur en proces respectievelijk de termen item en behaviour.

⁴ Een soortelijke analyse wordt gemaakt door Craver (2001)

Bij de opvatting van het begrip functie als activiteit wordt al hetgeen een kenmerk doet of in staat is om te doen een functie genoemd. Deze opvatting van functie wordt onder andere gehanteerd door Bock en Von Wahlert (1965). Meestal zal een kenmerk meerdere effecten, en dus meerdere functies hebben. Een organisme zal daarvan maar een deel gebruiken, er is dus sprake van 'utilized en unutilized functions'. Het deel van de functies dat door een organisme gebruikt wordt noemen Bock en Von Wahlert de biologische rol. Binnen deze opvatting is het produceren van geluid dus wel een functie van het hart, maar geen functie met een biologische rol (voorzover wij weten). Een voorbeeld van een uitspraak binnen deze definitie van functie is: 'De functie van deze klier is het afscheiden van slijm'.

In de opvatting waarbij functie als causale rol wordt gezien wordt functie gedefinieerd als de rol van het kenmerk in het grotere systeem waar het deel van uitmaakt. De structuur of het proces draagt bij aan een capaciteit van het grotere systeem (Cummins, 1975). De algemene vorm van uitspraken met functie als causale rol is: 'Een structuur of proces *i* heeft causale rol *f* in het handhaven van capaciteit *c* van systeem *s*.'

Een voorbeeld van een uitspraak binnen deze definitie is: 'Het hart (*i*) draagt via de voortstuwing (*f*) bij aan de capaciteit bloedcirculatie (*c*) van het lichaam (*s*).' Binnen de biologie kan hierbij op verschillende organisatieniveaus van functie sprake zijn. Je kunt ook het hart als systeem beschouwen en de hartkleppen als de structuren waarvoor de causale rol moet worden vastgesteld. De uitspraak wordt dan: 'De hartkleppen (*i*) dragen via het voorkomen van terugstromen (*f*) bij aan de capaciteit voortstuwing (*c*) van het hart (*s*).'. Wat in de eerste uitspraak de *causale rol* was van het hart in het systeem lichaam (voortstuwing), is in deze tweede zin dus de *capaciteit* geworden waaraan de kleppen in het systeem hart bijdragen. Dit type functiebeschrijvingen is zonder meer ook bruikbaar voor technische producten, voorzover die ook als systemen beschouwd kunnen worden (zie paragraaf 2.3). Toegepast op het voorbeeld van het watapanablad dat in de paragraaf over vorm werd gebruikt, dan wordt dit: 'het opvouwen van het watapanablad (de vorm van het subsysteem) draagt via de beperking van de verdamping (de functie) bij aan de regulatie van de waterhuishouding van de watapanaboorn (de capaciteit van het omvattende systeem)'.



Figuur 2.2.1 Blad van de watapana (*Caesalpinia coriaria*), uitgespreid en opgevouwen.

Hoofdstuk 2 Vorm en functie in de biologie en in technisch ontwerpen

Biologen die functie opvatten als overlevingswaarde kijken niet alleen naar de rol die het bestudeerde verschijnsel heeft in het systeem waar het deel van uitmaakt, maar zoeken ook naar een verklaring voor het ontstaan van dit verschijnsel in de evolutie door na te gaan welk selectief voordeel dit verschijnsel kan hebben. Hierbij wordt het bestudeerde kenmerk vergeleken met een andere situatie die op het eerste gezicht even plausibel of zelfs meer plausibel lijkt, bijvoorbeeld de afwezigheid van een energieverbruikend gedrag, of een eenvoudiger structuur.

De algemene vorm van uitspraken met functie als overlevingswaarde is: 'Kenmerk t heeft overlevingswaarde in vergelijking met kenmerk t' onder voorwaarden c vanwege...'. Een voorbeeld hiervan, bewerkt uit het bekende onderzoek van Tinbergen naar het verwijderen van lege eierschalen uit het nest door de kokmeeuw: 'Als de eieren door zwarte kraaien en zilvermeeuwen worden gegeten (c) is het voordeliger de lege schalen te verwijderen na het uitkomen van de jongen (t) dan ze bij het nest te laten liggen (t') vanwege het verstoren van de camouflage van de overblijvende eieren door de lege eierschalen'. Bij het watapanablad zou de vraag naar de functie hier dus betekenen dat het voordeel van het opvouwen wordt vergeleken met het niet opvouwen of met andere strategieën. Dat is een reële onderzoeksvraag, daar verwante soorten bomen in hetzelfde milieu hun blaadjes niet vouwen of andere manieren hebben om het waterverlies te beperken.

In de opvatting van functie als geselecteerd effect wordt het begrip functie in historische zin gebruikt, als het effect waarop een bepaald kenmerk in de evolutionaire geschiedenis is geselecteerd (Gould en Vrba, 1982). Daarbij kan een verschil bestaan tussen de actuele effecten die door een organisme worden gebruikt, en de effecten die in het verleden de selectie bepaald hebben. Alleen de laatste mogen volgens de aanhangers van deze benadering de functie van het kenmerk worden genoemd. Functionele verklaringen volgens dit model worden dus in feite als causale verklaringen gezien: een kenmerk is aanwezig door de functie, namelijk door het selectieve voordeel wat het kenmerk in het verleden heeft gehad ten opzichte van andere kenmerken. Dit is niet hetzelfde als de overlevingswaarde: de vraag naar de overlevingswaarde betreft het actuele voordeel van een kenmerk voor een organisme, en dat hoeft niet hetzelfde te zijn als het voordeel waarop het kenmerk in het verleden is geselecteerd. Wouters (1999) constateert dat de hantering van het begrip functie als geselecteerd effect meer een filosofische argumentatie is met als doel functionele verklaringen terug te voeren tot causale verklaringen. Deze definitie van functie is echter volgens Wouters in de praktijk niet bruikbaar voor functionele verklaringen en wordt ook niet door biologen gehanteerd. Dat wil uiteraard niet zeggen dat biologen ontkennen dat de historische relatie tussen vorm en functie in het verleden een rol heeft gespeeld. Voor de verklaring van een specifieke vorm heeft de bioloog daar echter doorgaans weinig aan, terwijl de causale rol en de overlevingswaarde van een kenmerk wel onderzoekbare vragen opleveren. Bij het watapanablad zou het zeer de vraag zijn of de functie waarop het opvouwen van de bladeren in het verleden geselecteerd is dezelfde is als de functie die er nu aan wordt toegeschreven. Opvouwen kan ook een functie hebben voor het vermijden van vraat, en de beweeglijkheid van de watapanablaadjes heeft ook als gevolg dat de bladeren naar de zon kunnen draaien. Welk effect in het verleden de selectie heeft bepaald is niet meer na te gaan, maar de huidige functies wel.

De vier benaderingen van het begrip functie zijn te zien als elkaar omvattend als we ze als volgt weergeven⁵:

1.functie als activiteit:

VORM→ACTIVITEIT

2.functie als causale rol:

VORM→ACTIVITEIT→BIJDRAGE AAN SUPRASISTEEM

3.functie als overlevingswaarde:

VORM→ACTIVITEIT→BIJDRAGE AAN SUPRASISTEEM

→NUT VOOR OVERLEVING vergeleken met afwezigheid kenmerk of andere vorm

4.functie als geselecteerd effect:

veranderde VORM→veranderde ACTIVITEIT→

veranderde BIJDRAGE AAN SUPRASISTEEM→

groter NUT VOOR OVERLEVING dan niet veranderde vorm→

ORZAAK VAN SELECTIE van veranderde vorm

De hantering van functie als causale rol en functie als overlevingswaarde worden het meest gehanteerd en liggen in het verlengde van elkaar. Bij veel redeneringen waarin naar de overlevingswaarde wordt gevraagd, zal de causale rol eveneens moeten worden geformuleerd. Wouters spreekt in zo'n geval van design-explanations (ontwerpverklaringen; zie paragraaf 2.2.4).

Reproductiesucces

Ayala (1970) onderscheidt twee niveaus van functies (Ayala spreekt van 'levels of teleology'). Op het eerste ('proximate') niveau staan functies als het vermijden van predatie, beschermen van nakomelingen en vergroten van de efficiëntie van voedselvergaren. Deze zijn uiteindelijk af te leiden van een tweede niveau, het 'ultimate goal' namelijk reproductiesucces. Alle andere functies moeten tot hiertoe herleid kunnen worden.

Gebruik van de indeling van Ayala betekent dat het niet alleen mogelijk is vanuit een kenmerk een functie toe te wijzen (van vorm naar functie), maar ook – uitgaande van wat een organisme moet doen om te overleven - een lijst van standaardfuncties op te stellen waar vervolgens kenmerken bij gezocht kunnen worden (van functie naar vorm). Dit kan onderzoeksvragen opleveren door bijvoorbeeld uit te gaan van de functie waterhuishouding en na te gaan op welke wijzen planten in een bepaald milieu dit oplossen. De functie wordt dan als het ware als probleem gezien waar een oplossing voor moet bestaan.

Een verdere ordening van de functies op het eerste (proximate) niveau werd al lang geleden gegeven door Von Uexküll, die hiervoor het begrip 'Funktionskreise' introduceert (Von Uexküll, 1928). Een Funktionskreis is vergelijkbaar met een regelkring en houdt in dat een organisme prikkels uit de buitenwereld waarneemt, en daarop reageert waardoor de buitenwereld zelf ook weer wordt beïnvloed. Hij onderscheidt achtereenvolgens de Funktionskreise van:

- Medium (bodem + lucht of water)
- Voeding
- Vijanden

⁵ Een vergelijkbaar overzicht wordt gegeven door Mahner & Bunge, die voor de vier onderscheiden betekenissen de termen internal activity, external activity, aptation en adaptation hanteren (Mahner & Bunge, 2001)

Hoofdstuk 2 Vorm en functie in de biologie en in technisch ontwerpen

- Voortplanting

Vanuit deze indeling kunnen functies van een organisme onderscheiden worden die

- waarneming, reactie en handhaving in een bepaald milieu mogelijk maken
- voorziening van energie en bouwstoffen mogelijk maken
- verdedigen tegen vijanden mogelijk maken
- voortplanting mogelijk maken

De eerste drie functies hebben ook te maken met zelfhandhaving, terwijl de voortplantingsfuncties te maken hebben met de overleving van de soort. De eerste functie is niet gescheiden van de laatste drie, maar draagt aan alle drie bij. Waarneming en beweging in water is zowel van belang bij het voedselzoeken als bij het vermijden van vijanden en bij de voortplanting. In Tabel 2.2.2 is deze onderverdeling nader uitgewerkt en van voorbeelden voorzien.

Tabel 2.2.2 Onderverdelingen van functies als bijdrage aan overleving.

FUNCTIES ALS BIJDRAGE AAN OVERLEVING		
Afgeleide functies	Onderverdeling	Voorbeelden
Waarneming, beweging en handhaving in milieu	Waarneming en communicatie	Waarneming en communicatie van chemische signalen, licht, geluid
	Beweging	Verminderen van weerstand, afzetten tegen ondergrond/medium
	Handhaving intern milieu	op peil houden van temperatuur en gehalten aan zout, water, zuurstof, uitscheiden afvalstoffen
Voeding	Voorziening van water, bouwstoffen en brandstoffen	Voedsel herkennen, voedsel bemachtigen, voedsel synthetiseren, voedsel verkleinen, voedsel verteren, voedsel transporteren
	Voorziening van zuurstof	Opnemen zuurstof, transport zuurstof
Vijanden	Vermijden van predatie	Verbergen, afschrikken, afschermen
	Tegengaan van ziekteverwekkers	Herkennen, doden
Voortplanting	Bevorderen kans op bevruchting	Verspreiding gameten, synchronisatie met de partner
	Zorg voor nakomelingen	Nakomelingen voorzien van voedsel, beschermen tegen vijanden, verspreiden

Bij de onderverdeling van functies komt de keerzijde naar voren van de vraag die aan het eind van het vorige gedeelte werd gesteld, namelijk of je vormen wel los van functies kan definiëren. Tabel 2.2.2 laat zien dat naarmate functies nader worden gespecificeerd, de bijbehorende vorm steeds duidelijker naar voren komt, totdat de functie

zo nauw is omschreven dat het een ‘ontwerp’ inhoudt voor een vorm. ‘Mimicry’ is een voorbeeld van een term waarvan niet duidelijk is of het een functie of een vorm betreft. In de praktijk zijn veel functies ook pas beschreven nadat onderzoek naar bestaande vormen deze functie aan het licht bracht. Zo is in de biochemie de term ‘chaperonne-eiwitten’ ingevoerd om de functie aan te duiden van het bijeenbrengen van moleculaire componenten zonder zelf daarmee te binden (Ellis e.a., 1993). Dit betreft dus een nieuw beschreven functie, en er zullen nog wel meer volgen. Het lijkt dus evenmin mogelijk om onafhankelijk van vormen een complete lijst van functies op te stellen als dat het mogelijk is vormen onafhankelijk van functies te beschrijven. Dit pleit voor de keuze die in paragraaf 2.2.2 is gemaakt, namelijk om de relatie tussen vorm en functie te zien als elkaar wederzijds bepalend in een cyclisch proces. Onderzoek zal steeds zowel bij nieuw ontdekte vormen ook nieuwe functies vinden als bij nieuw ontdekte functies nieuwe vormen opleveren. In paragraaf 2.2.4 wordt hier nader op ingegaan.

Functies en systemen

Organismen worden in de huidige biologische visie beschouwd als open systemen. Hierbij wordt vooral uitgegaan van de systeemtheorie van Von Bertalanffy (Von Bertalanffy, 1968). Een belangrijk kenmerk van systemen is de complexe opbouw uit subsystemen, die onderling interactie vertonen. Zo is de watapanaboom te beschouwen als een systeem, bestaande uit subsystemen zoals bladeren. De bladeren zijn zelf ook weer te beschouwen als open systeem. De verdampingsactiviteit in de bladeren beïnvloedt de activiteiten in andere delen, zoals het transport van water in de houtvaten in de stam. Een tweede kenmerk van systemen betreft de relatie met de systeemomgeving. Het systeem is afgegrensd van de omgeving, maar vertoont wel uitwisseling van materie, energie en informatie met de omgeving. Het watapanablاد bijvoorbeeld is af te grenzen van de rest van de watapana en van de omgeving. Het wisselt door deze grenzen stoffen uit (materie), absorbeert licht en produceert glucose (energie) en reageert op afnemende lichthoeveelheid als startsignaal om de bladeren te vouwen (informatie). Op een hoger systeemniveau wisselt de watapanaboom deels dezelfde stoffen uit, maar produceert ook hormonen, bladeren, bloemen en vruchten, geeft dood materiaal af, etc. Informatie uit de omgeving wordt door de boom niet alleen gebruikt bij het openen en sluiten van de bladeren, maar ook bijvoorbeeld ook bij de bloemvorming. Een derde kenmerk van veel systemen is dat er sprake is van regulatie waarbij het systeem veranderingen in de omgeving kan compenseren. Dit betreft een ander aspect van de systeemtheorie, dat vooral gebaseerd is op de cybernetica (Buddingh, 1997). Het vouwen van de watapanabladeren bij droogte is een manier van het blad om de te snelle verdamping te beperken⁶. De watapanaboom zal daarnaast ook bladeren laten vallen indien de aanvoer van water de verdamping in de bladeren niet meer kan compenseren.

De keuze voor het begrip functie als causale rol houdt in dat functie steeds gezien wordt als bijdrage aan het hogerliggend systeem, het suprasysteem. De functie van de hartkleppen is de bijdrage aan de werking van het hart, de functie van het hart is de bijdrage aan de bloedsomloop. Evenals vormen, zijn functies dus op verschillende organisatieniveaus te onderscheiden.

⁶ Veel plantensoorten sluiten hun bladeren ook 's nachts. Naast beperken van verdamping worden ook andere compenserende functies hieraan verbonden, zoals het beperken van afkoeling en het verhinderen van de storende invloed van maanlicht op de door licht beïnvloede hormoonhuishouding (Galston, 1997).

Hoofdstuk 2 *Vorm en functie in de biologie en in technisch ontwerpen*

Een vraag is of er ook boven het niveau van organismen of onder het niveau van biologisch gesynthetiseerde moleculen sprake kan zijn van functies. Binnen de ‘Gaia-hypothese’ waarin de biosfeer als systeem wordt beschouwd, worden aan de atmosfeer en oceanen inderdaad functies toebedeeld ten dienste van de homeostase van de biosfeer (Lovelock, 1980). Bepaalde auteurs schrijven ook functies toe aan zaken die helemaal geen onderdeel van een organisme vormen, bijvoorbeeld de uitspraak dat de functie van zuurstof het produceren van energie is (Wright, 1973). Indien functie consequent als causale rol wordt gedefinieerd, zijn al deze uitspraken mogelijk. De biosfeer is te beschouwen als een systeem, en subsystemen daarvan vervullen causale rollen in de handhaving van de stabiliteit van het systeem biosfeer. De vormen waaraan de functies worden toebedeeld boven het niveau van organismen of onder het niveau van biologisch gesynthetiseerde moleculen zijn echter geen eigenschappen meer van kenmerken van organismen, staan niet onder invloed van het genetisch materiaal en kunnen dus ook niet door natuurlijke selectie tot stand zijn gekomen.

In dit proefschrift wordt een keuze gemaakt uit de diverse invullingen van het begrip functie, zoals ze hierboven zijn beschreven. Daarbij wordt uitgegaan van Wouters’ designverklaringen (Wouters, 1999). In designverklaringen wordt zowel de causale rol als de overlevingswaarde van een verschijnsel aangegeven. Dat houdt in dat de vraag waar een verschijnsel toe dient, zowel beantwoord wordt door na te gaan welke rol het verschijnsel speelt in het suprasysteem, als dat nagegaan wordt in hoeverre het organisme beter af zou zijn zonder dat verschijnsel, of met het verschijnsel in een andere vorm. Als tussenstap naar de overlevingswaarde worden in dit proefschrift de Funktionskreise gebruikt die in Tabel 2.2.2 zijn aangegeven. Eén van de functies van het watapanablad is dus te omschrijven als de bijdrage aan de voeding, en daarmee aan de overleving van de watapanaboorn.

Een tweede overweging betreft het domein waarbinnen van functies wordt gesproken. In dit proefschrift worden uitspraken over functies in de biologie beperkt tot functies van kenmerken van organismen. Het argument voor deze keus is dat het toeschrijven van functies ten dienste van suprasystemen boven het organismeniveau niet algemeen gebruikelijk is.

Aanpassing

Aangezien de relatie tussen vorm en functie vaak wordt aangegeven als ‘de vorm is aangepast aan de functie’, en de term aanpassing vaak in het onderwijs gebezigd wordt, is het van belang apart op dit begrip in te gaan. Helaas is er ook hier sprake van vele betekenissen, waarbij auteurs ook niet steeds aangeven welke betekenis zij voor ogen hebben. Bovendien wordt in het Nederlands voor alle betekenissen naast aanpassing ook de term adaptatie gebruikt.

Gould en Vrba (1982) wijzen erop dat met de term aanpassing in de evolutiebiologie zowel het *proces* van geleidelijke verandering door natuurlijke selectie, als het *product* ervan, het veranderde fenotype, wordt aangeduid. Kähler (1991) definieert de term ‘Anpassung’ alleen voor het proces van geleidelijk beter passen bij de omgeving, maar wijst erop dat er *twee* processen mee worden aangeduid: het evolutionaire aanpassingsproces en het individuele aanpassingsproces. Met het laatste worden zaken bedoeld zoals pigmentatie na langdurige blootstelling aan de zon. Bock en Von Wahlert (1965) gebruiken voor dit laatste de term ‘physiological adaptation’. Een derde proces dat

met aanpassing/adaptation wordt aangeduid is het minder gevoelig worden van een zintuig bij aanhoudende prikkeling. Bij alle drie deze processen gaat het om een verandering in eigenschappen die wordt beïnvloed door de omgeving en die leidt tot een beter passen bij de omgeving. Het verschil tussen deze processen zit in de tijdsfactor; verandering in de loop van de evolutie versus verandering tijdens het leven van een individu en verandering tijdens het blootstellen aan een prikkel. De mechanismen van verandering zijn daarmee ook verschillend. Naast ‘Anpassung’ definieert Kähler ‘Angepasstheit’ als aanduiding voor de situatie dat organismen in het algemeen goed bij de omgeving passen. In het Nederlands wordt daarvoor wel de term ‘universele aanpassing’ gebruikt en ook Bock en Von Wahlert noemen ‘universal adaptation’ als term voor deze betekenis.

Aanpassing als *product* van natuurlijke selectie is te beschouwen als een deelverzameling van het begrip vorm, zoals dat in paragraaf 4. is uitgewerkt. Veel vormen die in de biologie worden beschreven zijn te beschouwen als adaptaties. Er zijn echter ook veel voorbeelden van situaties waarin dit niet het geval is, zoals in de volgende paragraaf aan bod zal komen. Aanpassingen in de betekenis van specifieke producten van natuurlijke selectie kunnen dus alle gedaanten hebben waarin vormen kunnen voorkomen; morfologische structuren, gedragspatronen, fysiologische processen, etc. We komen dan ook termen tegen zoals ‘gedragsaanpassingen’, ‘fysiologische aanpassingen’ en ‘morfologische aanpassingen’ (Neerincx, 1997; Zeiss, 1997). Hiermee krijgt de term ‘fysiologische aanpassing’ dus ook een dubbele betekenis: er kan het proces van individuele aanpassing aan de omgeving mee worden bedoeld, of een product van natuurlijke selectie in de vorm van een fysiologisch proces (bijvoorbeeld de varianten op het vastleggen van koolstofdioxyde bij planten in droge milieu’s). De diverse betekenissen zijn in Tabel 2.2.3 naast elkaar gezet.

Tabel 2.2.3 Betekenissen van het begrip aanpassing.

	BETEKENIS	GEBRUIKTE TERMEN
Aanpassing als <i>proces</i> van verandering in de eigenschappen van een organisme, welke verandering wordt beïnvloed door de omgeving en zorgt voor een beter passen bij de omgeving	1. Gedurende de evolutie van de soort door natuurlijke selectie	Evolutionaire aanpassing
	2. Gedurende het leven van het individu	Individuele aanpassing, Fysiologische aanpassing (zie ook 5)
	3. Gedurende een prikkeling: afnemende gevoeligheid van zintuig bij aanhoudende prikkel	Zintuigaanpassing, uitdoving
Aanpassing als <i>product</i> van natuurlijke selectie	4. Het passen bij de natuurlijke omgeving	Universele aanpassing
	5. Specifieke vorm als product van natuurlijke selectie; structuur of proces	Morfologische aanpassing Gedragsaanpassing Fysiologische aanpassing (zie ook 2)

Een gevolg van de vele betekenissen is dat het erg onduidelijk kan zijn wat bedoeld wordt met een zin ‘Het vouwen van de watapanablaadjes is een aanpassing’. Er kan mee bedoeld worden dat het proces door natuurlijke selectie is ontstaan (betekenis 5), maar ook dat de blaadjes zich aanpassen aan een droge situatie (betekenis 2). Volgens betekenis 1 zou je weer moeten zeggen dat het vouwen van de watapanablaadjes een gevolg is van (evolutionaire) aanpassing. Deze verwarring is reden om de term aanpassing in dit

proefschrift niet te gebruiken. In de betekenissen waarin het woord aanpassing wordt gebruikt kan het doorgaans vervangen worden door (een combinatie van) andere begrippen.

Vormen zijn niet altijd het resultaat van natuurlijke selectie

Aan het eind van het historisch overzicht (§ 2.2.2) werd het debat beschreven wat cruciaal is voor een nadere uitwerking van de vormfunctierelatie in het onderwijs. Het betreft hier het debat tussen degenen die veronderstellen dat in principe elke vorm door natuurlijke selectie op een functie tot stand is gekomen versus degenen die beweren dat in veel gevallen vormen op een andere manier verklaard moeten worden. Gould en Lewontin (1979) hebben een groot aantal situaties beschreven waarin andere verklaringen voor een bepaalde vorm gelden dan adaptatie door natuurlijke selectie. Eén ervan betreft het ‘founder principe’: in kleine populaties speelt toeval een grote rol in de uiteindelijke samenstelling van de genotypes. Hierbij kunnen veranderingen in genotypes en daarmee van vormen plaatsvinden waarin noch selectie, noch adaptatie een rol hebben gespeeld. Een voorbeeld hiervan is de migratie van kleine groepen van een populatie naar een nieuw gebied, waarbij de toevallige genotypische samenstelling kan inhouden dat bepaalde allelen ten opzichte van de oorspronkelijke populatie in een groter percentage, en andere allelen in een kleiner percentage voorkomen of zelfs verdwenen zijn. Het verschijnsel dat de Arubaanse parkiet afwijkt van de Curaçaose parkiet kan dus door andere oorzaken worden verklaard dan adaptatie en natuurlijke selectie.

Andere gevallen waarbij de vorm niet als aanpassing aan een functie kan worden beschouwd betreffen de situaties waarbij de vorm het gevolg is van selectie op een *ander* kenmerk. Dit komt voor indien een gen meerdere effecten heeft; selectie vindt plaats op één van die effecten, als gevolg waarvan de andere effecten eveneens toenemen in frequentie. Een vorm kan dus via natuurlijke selectie op een andere vorm zijn ontstaan. Ook kan er sprake zijn van ‘gene linkage’: sommige vormen zijn ‘meegelift’ met de natuurlijke selectie van andere vormen doordat de genen voor de geselecteerde en ongeselecteerde vorm dichtbij elkaar op hetzelfde chromosoom liggen (Gans, 1988).

Een situatie waar Gould en Lewontin nadruk op leggen is het geval waarin de vorm wel aangepast is aan de actuele functie, maar waarbij de vorm oorspronkelijk voor een andere functie is geselecteerd. Een voorbeeld hiervan is dat veren bijdragen aan de functie vliegen. Toch zijn veren als structuur waarschijnlijk niet voor deze functie geselecteerd, maar voor isolatie. Vervolgens heeft natuurlijke selectie opnieuw ingewerkt en zijn veren in tweede of zelfs derde instantie aangepast aan de functie vliegen. Gould en Vrba (1982) noemen veel van dergelijke voorbeelden. Voor dergelijke vormen stellen zij de term exaptatie voor. Veren beginnen dus als adaptatie voor de functie isolatie en exaptatie voor de functie vliegen. Na verdere selectie op de vliegfunctie kunnen veren in tweede instantie ook adaptaties aan vliegen worden genoemd.

Ontwerp

Naast de termen structuur, vorm, functie en adaptatie hanteren sommige auteurs het begrip ‘natuurlijk ontwerp’ (natural design). Een kenmerk wordt beschouwd *ontworpen* te zijn voor een functie als het kenmerk deze functie heeft en als het kenmerk het resultaat is van een verandering door natuurlijke selectie die een verbeterde uitvoering van deze functie oplevert (Allen & Bekoff, 1995). Deze redenering is dus gekoppeld aan de definitie van functie als geselecteerd effect. Hierbij moet de term ‘ontwerpen’ weer

gezien worden als metafoor. Allen & Bekoff geven daarbij aan dat aan een ontwerp altijd een functie verbonden is, maar dat omgekeerd niet geldt dat alles wat een functie heeft ook daarvoor ontworpen is.

Rudwick (1964) is als paleontoloog geïnteresseerd in de mogelijke functie van een bepaalde fossiele vorm. Om hier uitspraken over te kunnen doen formuleert hij een hypothetische functie en leidt daaruit vervolgens 'structural specifications' af waaraan de vorm, binnen de beperkingen van het gegeven materiaal, zou moeten voldoen om deze functie met succes te kunnen uitvoeren. De gegeven vorm wordt vervolgens vergeleken met deze 'structural specifications'. Bij het technisch ontwerpen wordt de term 'ontwerpeisen' gebruikt in dezelfde zin als Rudwick hanteert voor 'structural specifications'. Rudwick zelf gebruikt voor het totaal van deze specifications de term 'paradigma'; gezien het gebruik in deze context lijkt de term 'ontwerp' echter meer voor de hand te liggen. In tegenstelling tot Allen & Bekoff is het voor Rudwick niet van belang of een bepaald ontwerp al of niet product van natuurlijke selectie is.

Doel

Het onderscheid tussen 'functie' en 'doel' is vaag en wordt niet door iedereen gemaakt. Beide begrippen vallen binnen de definitie van de term teleologie: "het denken in termen van functie, doel en doelgerichtheid" (Craig, 1998). Wright (1973) maakt wel een onderscheid tussen beide en reserveert het gebruik van de termen doel en doelgerichtheid voor datgene waar een bepaald *gedrag* op is gericht. Volgens Wright is bij studie van gedrag het doel van het gedrag te onderscheiden van de functie van dat gedrag. Als plankton actief de afstand tot het wateroppervlak wijzigt, heeft dat de functie om de zuurstofvoorziening op een constant peil te houden. Het gedrag is echter niet direct op deze functie gericht, maar op het constant houden van de lichtintensiteit. Het laatste is in deze visie dus het doel van het gedrag. Daarnaast zijn er vele functies waaraan geen doel in de zin van een vooraf bepaalde uitkomst van gedrag is gekoppeld.

Nagel (1961) is uitvoeriger over het onderscheid. Evenals Wright verbindt hij het begrip doel aan een vooraf bepaalde uitkomst waar activiteiten op gericht zijn. Hierbij wordt onder activiteiten ook regulatie van lichaamsprocessen en intern milieu verstaan. Onder functie verstaat Nagel vervolgens de *effecten* van een structuur of proces van een organisme. In veel gevallen kan de functie van een activiteit dus direct in het verlengde liggen van het doel van een activiteit. Als het doel van de activiteit van de eilandjes van Langerhans een bepaalde waarde van de bloedsuikerspiegel is, dan ligt deze betekenis van doel wel heel dicht bij de betekenis van functie. Nagel verbindt het begrip doelgerichtheid met de systeemtheorie, en met name met de cybernetica. Doelgerichte systemen bevatten als kenmerkende eigenschappen plasticiteit en persistentie. Met plasticiteit wordt aangegeven dat het doel vanuit verschillende uitgangspunten kan worden bereikt. In plaats van plasticiteit wordt ook wel de term equifinaliteit gebruikt ondermeer door Von Bertalanffy (1968). Met persistentie wordt de eigenschap bedoeld dat doelgerichte systemen afwijkingen van het doel kunnen compenseren en zo het doel kunnen handhaven. Deze voorwaarden geven nog geen uitsluitel over leven; ook niet-levende systemen kunnen doelgericht zijn als ze aan deze voorwaarden voldoen.

In bovenstaande omschrijvingen lijken met 'doel' andere zaken te worden aangeduid dan 'intentie' of 'bedoeling' en wordt 'doel' meer letterlijk gezien als 'doelwit' of 'eindpunt'. De eerste betekenis waarin doel wordt gehanteerd is die van een bepaalde waarde waar een homeostatisch mechanisme op ingesteld is. Hiermee kan dus zowel de ingestelde

temperatuur van een thermostaat worden bedoeld als de grenzen waarbinnen de osmotische waarde van het bloed mag variëren. De tweede betekenis is die van een vooraf bepaald eindpunt van een ontwikkeling. Rosenberg (1985) start zijn hoofdstuk over teleologie met dit aspect van doelgerichtheid.

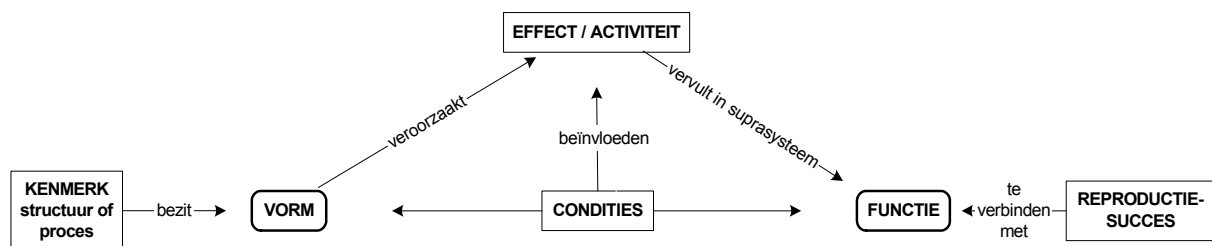
Samenvatting

Organismen bevatten structuren (zoals organen) en vertonen processen (zoals gedragingen). Zowel de structuren als de processen hebben een verschijningsvorm in ruimte en tijd, die wordt aangeduid als de *vorm*. Structuren en processen worden in dit proefschrift gezamenlijk aangeduid met de term *kenmerk*.

Een kenmerk maakt deel uit van een systeem, dat ten opzichte van dit kenmerk het suprasysteem wordt genoemd. Soms zijn kenmerken zelf ook systemen (zoals het immuunsysteem).

De vorm veroorzaakt onder bepaalde condities bepaalde *effecten* op de omgeving. Zo heeft het vouwen van het watapanablad een kleiner uitwisseloppervlak met de omgeving tot gevolg. Hier wordt de term ‘effect’ gebruikt in plaats van ‘activiteit’. De achtergrond van deze keuze is dat men wel kan spreken van de activiteit van een structuur, maar dat het verwarrend is om te spreken van de activiteit van een proces. Wel kan men zowel bij een structuur als een proces aangeven wat deze in de omgeving teweegbrengen. Deze effecten dragen bij aan (hebben een causale rol in) de werking van het suprasysteem, hetgeen aangeduid wordt als de *functie* van het kenmerk. Deze werking van het suprasysteem draagt uiteindelijk bij aan het reproductiesucces van het organisme waar het kenmerk deel van uitmaakt. Vorm, effecten en functie treden op onder bepaalde *condities* in de omgeving of in het organisme, zoals licht, hormoonconcentraties of leeftijd. In Figuur 2.2.2 is bovenstaande in schematische vorm opgenomen.

De termen adaptatie, ontwerp en doel worden in het vervolg vermeden omdat deze termen verwarring veroorzaken door de verschillende betekenissen die zij hebben.



Figuur 2.2.2 Samenvatting van de gekozen betekenissen van de begrippen vorm en functie.

2.2.4 **Vorm en functie in biologisch onderzoek**

In deze paragraaf wordt teruggekomen op de twee vragen die in dit hoofdstuk beantwoord moeten worden:

- Heeft het vormfunctieperspectief heuristische waarde voor de ontwikkeling van kennis in biologisch onderzoek?

- Indien het vormfunctieperspectief deze waarde heeft, welke heuristieken kunnen dan worden gehanteerd?

Vragen van vorm naar functie

Wouters (1999) gaat uitgebreid in op het gebruik van de relatie tussen vorm en functie in biologisch onderzoek. De vraag naar de functie van een kenmerk kan verschillend worden opgevat, al naar gelang de definitie van functie die gehanteerd wordt (zie vorige paragraaf). Bij de vraag naar de functie *in de zin van causale rol* wil men weten wat de bijdrage is van de betreffende structuur of proces aan het hogerliggende systeem, bijvoorbeeld de rol van de kleppen in het bloedvatstelsel. De vraag die hierbij beantwoord moet worden is ‘*Waarvoor dient kenmerk X?*’. Deze relatie verklaart dus de werking van het suprasysteem vanuit de samenwerking van de onderdelen, maar verklaart nog niet op welke wijze de vormfunctierelatie *tot stand is gekomen*. In de vraag ‘*Waarvoor dient kenmerk X?*’ is doorgaans een aantal vragen vervat die eerst beantwoord moeten worden. Wouters noemt de volgende vragen: ‘*Hoe ziet kenmerk X er uit?*’ (de vraag naar de vorm) en ‘*Wat doet kenmerk X?*’ (de vraag naar het effect van de vorm).

Als kenmerk en functie beide bekend zijn komen er vaak nieuwe vragen op over de vorm van het kenmerk. In sommige gevallen is het duidelijk op welke wijze de vorm bijdraagt aan de functie (bijvoorbeeld bij een verschijnsel als schutkleur). In andere gevallen waar het gaat om complexe systemen is vaak nog veel onderzoek nodig voordat volledig verklaard is hoe de vorm causaal met de functie is verbonden. Toen bijvoorbeeld eenmaal duidelijk was dat het hart voor voortstuwing zorgt, kwam een grote hoeveelheid vragen naar voren over de bouw en regulatie van het hart. Het type vraag waar het hier om gaat is dus de vraag naar de wijze waarop de vorm via het effect tot de functie leidt, met andere woorden: ‘*Hoe werkt kenmerk X?*’.

Bij de vraag naar de *functie in de zin van overlevingswaarde* wil men weten waarom de betreffende structuur of het betreffend proces nuttig is voor de overleving van het organisme. In veel gevallen zal men bij dit soort vragen eerst de causale rol moeten vaststellen, en vervolgens onderzoeken waarom een organisme slechter af zou zijn bij afwezigheid van de betreffende structuur of proces, of slechter af zou zijn met een alternatieve (maar plausibele) structuur of proces. Wouters spreekt in dit geval van ‘*design-explanation*’, waarbij dus zowel de causale rol als de overlevingswaarde worden onderzocht. Dit type onderzoek vergelijkt dus altijd de bestaande situatie met een alternatieve situatie, een zogenaamde ‘*counterfactual*’. Design-explanations of ontwerpverklaringen geven dus antwoord op de vraag ‘*Waarom zo en niet anders?*’. Deze vraag doet zich met name voor bij structuren of processen die op het eerste gezicht nadelig lijken voor het organisme doordat ze extra energie kosten of risico’s voor het organisme opleveren. Een voorbeeld hiervan is het verwijderen van eierschalen uit het nest bij kokmeeuwen, een gedrag dat de vogel extra tijd kost en bij veel verwante soorten niet voorkomt. Bij dit type vragen kan het voorkomen dat vorm en functie beide bekend zijn, maar dat het er om gaat of de vorm optimaal bij de functie past. Wouters maakt hierbij onderscheid tussen vergelijkingen met de afwezigheid van een kenmerk (‘*Waarom heeft organisme Y een kenmerk X?*’), en vergelijkingen met een andere vorm van het kenmerk (‘*Waarom heeft kenmerk X vorm A en niet vorm A’?*’). Wouters betoogt dat designverklaringen inzicht bieden door aan te geven op welke wijze de bestaande structuur/proces een oplossing zijn voor een probleem dat te maken heeft met de overleving van organismen Deze verklaring geeft geen *rechtstreeks* antwoord op de vraag

naar de *veroorzaking* van het verschijnsel in de fylogeneze, maar geeft wel aan dat de functionele relaties binnen een organisme en onder bepaalde condities zodanig samenhangen dat het aantal mogelijke oplossingen sterk wordt ingeperkt. Daarmee kan niet bewezen worden dat het betreffende kenmerk de *enig mogelijke* oplossing is, maar wel dat dit kenmerk een passende oplossing vormt terwijl veel andere oplossingen (die bijvoorbeeld veiliger of energetisch voordeliger zijn) niet of in mindere mate voldoen. Op deze wijze wordt wel een *indirect* antwoord gegeven op de vraag naar de veroorzaking in de fylogeneze, doordat aannemelijk wordt gemaakt dat het betreffende kenmerk een selectievoordeel heeft gehad in de evolutie van het betreffende organisme.

Vragen van functie naar vorm

Bovenstaande verklaringen spelen een rol bij het zoeken van een functie bij een gegeven vorm, of bij het verklaren waarom een gegeven vorm beter bij een gegeven functie past dan een andere. In deze gevallen is het kenmerk dat onderzocht wordt bekend. In biologisch onderzoek speelt echter ook het omgekeerde een rol; in veel onderzoek wordt juist bij een gegeven functie gezocht naar het kenmerk dat deze functie kan veroorzaken. Voorbeelden van dergelijk onderzoek zijn o.a. de zoektocht naar de drager van de genetische informatie, en het door Wouters zelf genoemde onderzoek naar de wijze waarop bij de Onychophora (een zeldzame groep wormachtige dieren) de geslachtelijke partners elkaar weten te vinden (Eliott et al, 1993). Dergelijk onderzoek geeft antwoord op de vraag: *'Hoe zorgt organisme X voor functie Y?'*

Vragen naar het ontstaan van een kenmerk

Vragen naar de relatie tussen vorm en functie doen zich ook voor bij onderzoek naar het ontstaan van een kenmerk tijdens de embryonale ontwikkeling (de ontogenese) en tijdens de evolutionaire ontwikkeling (de fylogeneze). Een voorbeeld van het eerste is de vraag naar de veranderingen in vorm en functie van het zoogdierenhart in de embryonale ontwikkeling. Een voorbeeld van het laatste is de vraag welke voorstadia van het vertebraten-oog er zijn geweest en welk selectief voordeel die tussenstadia heeft doen ontstaan. De vragen die in dit kader gesteld worden zijn doorgaans terug te voeren tot de hieronder genoemde vraagtypen zoals 'Waarvoor dient' en 'Hoe zorgt organisme X voor...'

Samengevat speelt het vormfunctieperspectief in biologisch onderzoek dus een rol door het genereren van de volgende typen onderzoeksvragen:

- I. bij het zoeken van een functie bij een bekend kenmerk (structuur of proces)
(*'Waarvoor dient kenmerk X?'*, met daarbinnen de vragen *'Welke vorm heeft X?'* en *'Wat doet X?'*)
- II. bij het zoeken van een kenmerk dat een bekende functie vervult
(*'Hoe zorgt organisme A voor functie Y?'*)
- III. bij het verklaren van de werking van een kenmerk
(*'Hoe werkt X?'*)
- IV. bij het verklaren van het grotere nut van een bepaalde verschijningsvorm van een kenmerk bij een bekende of veronderstelde functie ten opzichte van de afwezigheid van dit kenmerk of ten opzichte van een andere vorm
(*'Waarom heeft kenmerk X vorm A en niet vorm A''?'*)

Het kijken naar biologische verschijnselen vanuit het vormfunctieperspectief levert dus verschillende typen *onderzoeksvragen* op. Behalve dat levert het vormfunctieperspectief ook manieren om deze vragen te beantwoorden, oftewel *heuristieken* (Resnik, 1995).

Heuristieken

Als voorbeeld van hoe het vormfunctieperspectief op verschillende wijze binnen één onderzoeksprogramma kan terugkomen worden hieronder eerst enkele episoden uit het onderzoek naar de genetische code weergegeven. Bij elke episode wordt geanalyseerd welke heuristiek is gehanteerd om de relatie tussen vorm en functie te leggen. Vervolgens komen ook andere onderzoeksterreinen aan bod. Het eerste voorbeeld uit het onderzoek naar de genetische code betreft een vraag van type II: het zoeken van een kenmerk bij een functie. In 'What is life' publiceert Schroedinger (1944) zijn gedachten over de materiële basis van het gen. Hierbij leidt hij vanuit de functie van het gen af dat de materiele basis zelf twee kenmerken moet bevatten: stabiliteit en het vermogen informatie te bevatten. Vanuit deze eigenschappen voorspelt Schroedinger dat de materiele basis een aperiodiek kristal zal zijn; aperiodiek omdat een regelmatig kristal geen informatie kan bevatten, en een kristal omdat het om een groot, stabiel molecuul moet gaan. *"The molecule presents the same solidity of structure as a crystal. Remember that it is precisely this solidity on which we draw to account for the permanence of the gene!"* (Schroedinger, 1944; p.64). Hiermee lijkt de volgende heuristiek te zijn gehanteerd:

Heuristiek a. Vanuit een bekende functie wordt afgeleid aan welke structurele specificaties een kenmerk moet voldoen. Deze specificaties kunnen vervolgens worden gebruikt als 'zoekbeeld' of als test van mogelijke kandidaten.

In 1953 is er al meer bekend over de bestanddelen van het DNA en RNA en zijn er sterke aanwijzingen dat DNA inderdaad het materiaal is dat de erfelijke code bevat. De structuur -eigenlijk zouden we hier de term vorm moeten hanteren! - is echter nog niet opgehelderd. Een aanwijzing komt als Pauling een alfa-helix model voor de eiwitstructuur presenteert. Dit model lijkt toepasbaar op DNA (Watson, 1968; Resnik, 1995). Naast de hierboven genoemde heuristiek a. is hierbij een tweede heuristiek gehanteerd, namelijk:

Heuristiek b. De vorm van een kenmerk met vergelijkbare structuur wordt gebruikt als mogelijk model voor een nog onopgehelderde vorm.

Later leidt dit helixmodel, in combinatie met eerdere gegevens over de componenten en röntgenkristallografische beelden tot een model waarin de basen tegenover elkaar komen te staan. *"Despite the messy backbone, my pulse began to race. If this was DNA, I should create a bombshell by announcing its discovery. The existence of two intertwined chains with identical base sequences could not be a chance matter. Instead it would strongly suggest that one chain in each molecule had at some earlier stage served as a template for the synthesis of the other chain"* (Watson, 1968) De functie komt hier weer om de hoek kijken, ditmaal als argument dat de gekozen structuur juist is. Het vanuit de voorgestelde vorm kunnen verklaren van de reeds bekende functie dient als argument voor de juiste keuze van de vorm. Watson komt hierbij ook meteen met een voorlopig antwoord op de vraag hoe vanuit de structuur van het DNA de identieke replicatie te verklaren is, met andere woorden een vraag van het type III: 'Hoe werkt het?'. De hypothese dat één streng als mal ('template') dient voor een nieuw te vormen streng wordt later getoetst en

bevestigd in het Meselson-Stahl experiment⁷ (Lewin, 1983). De heuristiek die hier wordt gevolgd is dat vanuit een hypothese over de vorm een voorspelling wordt gedaan over het effect van het kenmerk in een experimentele situatie. Let erop dat hierbij het *kenmerk* (DNA-molecuul) wel bekend is, maar dat er nog veel vragen zijn over de werking (in dit geval de wijze van replicatie).

Heuristiek c. Vanuit een hypothese over de werking worden voorspellingen over het effect in een experimentele situatie getoetst.

Na de opheldering van de structuur blijven nog veel raadsels over. Een van deze raadsels is waarom thymine in DNA de plaats inneemt van uracil in RNA, terwijl het energie kost om thymine uit uracil te maken en uracil even goed paart met adenine. Het feit dat dit als een vraag wordt gezien geeft aan dat biologen (ook moleculair-biologen!) zoeken naar *functies* van structuren, vooral als er geen eenvoudige energetische verklaring voor is. Hierbij wordt een vraag geformuleerd van type IV: 'Waarom vorm A (thymine) en niet vorm A' (uracil)?'.

Het onderzoek naar de materiële basis van het gen start dus met het zoeken naar de vorm die bij een gegeven functie past (informatie opslaan en kopiëren). Dit is een vraag van type II uit de vorige paragraaf. Als deze vorm gevonden is, wordt ook de andere weg bewandeld, namelijk het testen of deze vorm de gegeven functie kan verklaren, en het verklaren van een gegeven vorm (het verschil tussen Thymine en Uracil) waarvan de noodzaak niet evident is. Het laatste is een vraag van type IV uit de vorige paragraaf. Vragen van type III spelen daardoorheen. We zien dus dat er sprake is van een 'heen-en-weer-denken' tussen vorm en functie, waarbij het antwoord op de vraag naar een functie een nieuwe vraag naar een vorm oplevert en andersom.

In de twee onderstaande voorbeelden, de onderzoeken van Tinbergen en van Rudwick, wordt bij een bekend kenmerk - respectievelijk een gedrag en een structuur - een functie gezocht. Tinbergen onderzocht het gedrag van de kokmeeuw, zoals het verwijderen van eierschalen uit het nest. Hierbij was zijn onderzoeksvraag door hemzelf eenvoudig geformuleerd als: 'Zou dit dier minder succes hebben als hij dit gedrag niet bezat?' (Tinbergen, 1965). Zijn hypothese is dat dit gedrag de functie heeft om het nest minder zichtbaar te maken voor predatoren. Vervolgens wordt dit onderzocht door de effecten van het gedrag teniet te doen, bijvoorbeeld door de lege eierschalen die door een broedende meeuw waren verwijderd, weer terug te leggen. Indien nesten met lege eierschalen inderdaad meer door predatoren worden gevonden dan nesten zonder eierschalen, is de hypothese bevestigd dat het weghalen van de eierschalen de functie heeft om het nest tegen predatoren te beschermen. De vraag is dus geformuleerd als een type IV-vraag: het bestaande gedrag wordt (experimenteel) vergeleken met de afwezigheid van dit gedrag. De heuristiek is hier als volgt:

Heuristiek d. Bij een bekende vorm wordt een functie verondersteld. Vanuit deze veronderstelling worden voorspellingen gedaan over het directe effect van de vorm en over het effect van de verstoring van de vorm. Deze voorspellingen worden experimenteel getoetst.

⁷ In dit experiment wordt voor de replicatie een medium gebruikt dat een zware stikstof-isotoop bevat. In dit medium gevormde DNA-strengen zijn daardoor zwaarder dan de oude. De hypothese is dat een nieuwe dubbele DNA-streng wordt gesynthetiseerd met een oude enkele streng als mal voor een nieuwe enkele streng. Deze hypothese leidt tot de voorspelling dat bij een eerste replicatie in dit medium de nieuwe dubbele DNA-streng qua gewicht zal inzitten tussen DNA met de normale stikstof-isotoop en DNA met de zware stikstofisotoop. Het experiment van Meselson en Stahl bevestigde deze voorspelling.

Verder leidt de hypothese over de functie tot meer gedetailleerd onderzoek naar de vormkenmerken van het gedrag, bijvoorbeeld of de meeuwen ook andere voorwerpen uit het nest verwijderen, en in welk stadium van het broeden het gedrag optreedt. Vanuit de functie ontstaan dus ook weer nieuwe vragen over de vorm. De heuristiek van het verstoren van een effect is overigens een heuristiek die ook veel wordt toegepast in onderzoeksvragen van type III ('Hoe werkt het?').

In de paleontologie heeft de bioloog vooral te maken met structuren, terwijl de functies zelf niet direct te bestuderen zijn. Rudwick (1964) geeft in een artikel 'The Inference of Function from Structure in Fossils' een methode om vanuit de vorm een toetsbare hypothese over de functie te kunnen formuleren, bijvoorbeeld de vraag of een armskelet een vliegfunctie heeft gehad (type I-vraag). Hierin lijkt zijn methode op die van Tinbergen, alleen zonder de mogelijkheid te testen of een organisme zonder een bepaalde vorm inderdaad slechter af is. Wat wel testbaar is, is de mate waarin een morfologisch kenmerk voldoet aan technische structurele specificaties die af te leiden zijn uit de veronderstelde functie. Deze structurele specificaties fungeren daarmee als hypothese waarmee de werkelijke vorm kan worden vergeleken. De werkelijke vorm wordt hierbij benaderd als een ontwerp, en de term 'ontwerpeisen' lijkt in dit verband dan ook gerechtvaardigd.

Heuristiek e. Bij een bekende vorm wordt een functie verondersteld. Vanuit deze veronderstelling worden structurele specificaties afgeleid waarmee de vorm vergeleken kan worden.

In de aanpak van Rudwick komt de hypothese van een bepaalde functie voort uit de analogie met bekende vormen die bekende functies hebben. Aan deze bekende functies worden suggesties voor de onbekende functie van de bestudeerde structuur ontleend.

Heuristiek e lijkt op die van heuristiek a, in de zin dat in beide structurele specificaties worden geformuleerd. In heuristiek a fungeren deze eisen als zoekbeeld voor een nog niet gevonden structuur, in heuristiek e als controlepunten waar de bekende structuur aan moet voldoen. Deze structurele specificaties kunnen niet alleen afgeleid worden van de functie, maar ook van de randvoorwaarden zoals bijvoorbeeld het materiaal waar de structuur uit opgebouwd is. "Such a specification then describes the structure that would be capable of fulfilling the function with the maximum efficiency attainable under the limitations imposed by the nature of the materials" (Rudwick, in Allen et al., 1998; p.110). Ook bij de onderzoeken van Tinbergen en Rudwick zien we dat er sprake is van 'heen en weer-denken' tussen vorm en functie.

Het laatste voorbeeld, het onderzoek van Orian, betreft een voorbeeld van type IV. Zowel vorm als functie zijn bekend, maar de vraag is of de betreffende vorm optimaal is, met andere woorden of te verklaren is dat uit mogelijke alternatieven de betreffende vorm geselecteerd is. Orian et al. (1978) onderzochten het voedselzoekgedrag bij vogels. Daarbij berekenden zij bij diverse voedselzoek-strategieën (bijvoorbeeld alleen voedsel van een bepaalde grootte meenemen, alle voedseldeeltjes meenemen, alleen de grootste voedseldeeltjes meenemen) de kosten/baten wat betreft het energieverbruik door het verzamelen versus de energiewinst in het verzamelde voedsel. De optimale voedselgrootte werd vervolgens vergeleken met de selectie die de vogels in werkelijkheid maakten.

Heuristiek f. Bij een bekende vorm met bekende functie wordt nagegaan in hoeverre de vorm optimaal is door deze te vergelijken met een alternatieve vorm en te berekenen of deze voordeliger is voor wat betreft energie of risico

2.2.5 Kenmerken van het vormfunctieperspectief in biologisch onderzoek

Elementen van het vormfunctieperspectief

Bij vragen van type I ('Waarvoor dient kenmerk X?') blijkt de heuristiek te kunnen starten met een hypothese over de functie. Vanuit die hypothese kunnen voorspellingen worden gedaan over het effect van een verstoring van het kenmerk. Ook kunnen structurele specificaties worden geformuleerd waarmee de vorm van het kenmerk kan worden vergeleken.

Bij vragen van type II ('Hoe zorgt organisme A voor functie Y?') kan, evenals bij vragen van type I, gebruik worden gemaakt van structurele specificaties, die in dit geval het zoeken vergemakkelijken door het uitschakelen van kandidaten die niet aan de eisen voldoen. Een andere heuristiek blijkt hierbij het gebruik van analoge vormen. Is eenmaal een kandidaat gevonden, dan kan vervolgens weer getest worden of dit kenmerk inderdaad het voorspelde effect vertoont, of men kan testen, door uitschakeling van dit kenmerk, of dit de voorspelde invloed heeft op de werking van het suprasysteem.

Vragen van type III ('Hoe werkt kenmerk X?') starten met een hypothese over de vorm of over het effect. Ook hier kunnen vanuit deze hypothese voorspellingen worden gedaan die experimenteel kunnen worden getoetst.

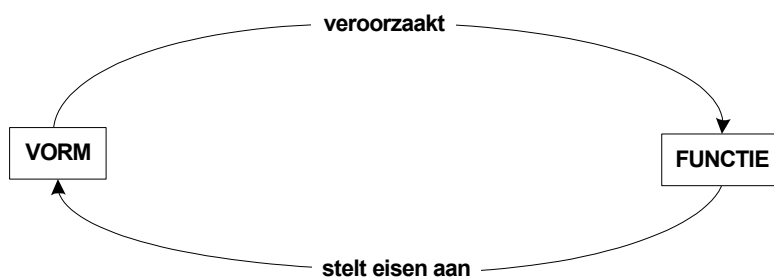
Bij vragen van type IV ('Waarom heeft kenmerk X vorm A en niet vorm A?') functioneert de eis dat de betreffende vorm optimaal is binnen de aanwezige condities qua energiekosten en/of risico voor predatie. Van alternatieve vormen kan de kosten/baten analyse vergeleken worden met die van de betreffende vorm.

Naast de vorm en de functie zelf, blijken dus structurele specificaties en analoge vormen en functies een belangrijk onderdeel te zijn van de vormfunctieheuristieken. Ook de condities, reeds genoemd in paragraaf 2.3.3 spelen een rol in alle andere elementen. Bepaalde *vormen* treden alleen op onder bepaalde condities; bijvoorbeeld het vouwen van de watapanablaadjes dat 's nachts optreedt. Bepaalde *effecten* treden alleen op onder bepaalde condities; bijvoorbeeld het oppervlakte-vergroten effect van kieuwplaatjes treedt alleen op in water, daar de plaatjes buiten het water aan elkaar plakken. De uitoefening van bepaalde *functies* heeft alleen overlevingswaarde onder bepaalde condities; bijvoorbeeld de functie van bescherming tegen predatoren heeft alleen overlevingswaarde als er inderdaad predatoren aanwezig zijn (zie het onderzoek van Tinbergen). *Structurele specificaties* tenslotte worden voor een groot deel bepaald door condities; bijvoorbeeld de specificaties voor de functie waterhuishouding in planten zijn heel anders in de winter dan in de zomer.

Een model voor het gebruik van de vorm-functie relatie in biologisch onderzoek

Het voorgaande overziend is een model van het vormfunctieperspectief in biologisch onderzoek op te stellen. Dit model moet overeenstemmen met wat in hoofdstuk 1 gezegd is over perspectieven. In hoofdstuk 1 is het vormfunctieperspectief gedefinieerd als een domeinspecifieke denk- en werkwijze in de biologie. Het domeinspecifieke wordt gegeven door de begrippen die in het vormfunctieperspectief worden gebruikt, zoals vorm, functie en overlevingswaarde. Het vormfunctieperspectief beschrijft tevens welke relaties deze begrippen hebben. Het model is daarmee te beschouwen als een concept map (Novak & Gowin, 1984), dat wil zeggen dat de relaties tussen de begrippen zijn aangegeven met pijlen waarbij in woorden het type relatie is vermeld.

Het voorgestelde model is circulair, in overeenstemming met de conclusie uit paragraaf 2.2.2 dat vorm en functie elkaar wederzijds bepalen. Eerst wordt het basale model van het vormfunctieperspectief gepresenteerd (Figuur 2.2.3). Twee hoofdwegen verbinden in dit schema vorm en functie. De weg ‘bovenlangs’ geeft de causale verbanden aan tussen vorm en functie. De vorm van een kenmerk heeft bepaalde effecten die bijdragen aan het suprasysteem. In deze weg zijn exacte voorspellingen en verklaringen mogelijk, en deze kunnen empirisch worden getoetst. Vanuit de vorm is hier de functie te verklaren. De weg ‘onderlangs’ van functie naar vorm is te beschouwen als een vorm van probleemoplossen, waarbij de te vervullen functie het probleem is en de gezochte vorm de oplossing. Vanuit de functie zijn er echter vele mogelijke vormen die potentieel voldoen. Hier gaat het niet om causale verbanden, maar om het afbakenen van de vormen die aan de eisen voldoen, wat het vinden van de vorm vergemakkelijkt.

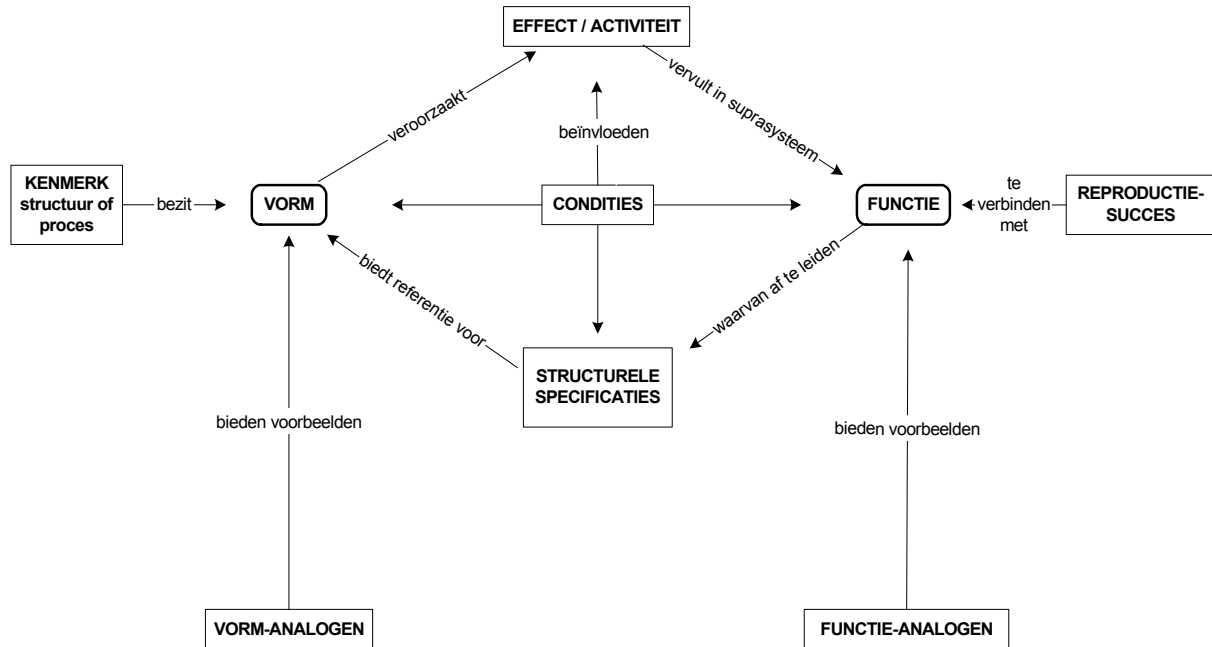


Figuur 2.2.3 Basaal model van het vormfunctieperspectief in biologisch onderzoek.

Het vormfunctieperspectief moet echter niet alleen de relaties tussen begrippen aangeven, maar ook aangeven hoe biologen hiermee werken, met andere woorden de heuristieken die het vormfunctieperspectief oplevert. Biologen gebruiken de twee hoofdwegen ‘bovenlangs’ en ‘onderlangs’ in beide richtingen, dus niet alleen in de richting waarin de pijl staat. Een bioloog kan vanuit de functie ‘beperken van waterverlies’ de weg ‘bovenlangs’ als het ware ‘teruglopen’ door na te gaan op welke wijze de vorm van de bladeren bijdraagt aan deze functie. In dit geval zijn dus zowel het kenmerk als de functie al bekend en gaat het erom via welk mechanisme de vorm van het kenmerk tot de functie leidt. Dit betreft dus een vraag van type III: ‘Hoe werkt kenmerk X?’. Indien een bioloog een ander organisme tegenkomt, waarvan niet bekend is welk kenmerk de functie van beperken van waterverlies vervult, kan vanuit dezelfde functie ook de weg ‘onderlangs’ doorlopen door zich af te vragen door welk(e) kenmerk(en) deze functie wordt vervuld. In dit geval is er sprake van een vraag van type II: ‘Hoe zorgt organisme X voor functie Y?’

Vanuit Figuur 2.2.3 is nu een uitgewerkt schema (Figuur 2.2.4) op te bouwen, waarbij gebruik wordt gemaakt van Figuur 2.2.2 uit paragraaf 2.2.3 en de elementen genoemd in het begin van deze paragraaf. De bioloog die vanuit een functie naar het bijpassende kenmerk zoekt kan daarbij geholpen worden door analoge voorbeelden bij andere organismen, of door het formuleren van structurele specificaties, die een referentie bieden waarmee de vorm vergeleken kan worden. De structurele specificaties waar de vorm aan moet voldoen worden enerzijds gesteld door de functie (bijvoorbeeld regulatie waterhuishouding), anderzijds door de condities (bijvoorbeeld periodes van langdurige droogte). Als ‘vaste ontwerpeisen’ kan bovendien gesteld worden dat de oplossing voor het

probleem niet zelf weer problemen mag veroorzaken door verhoging van de energiekosten of vergroting van risico's.



Figuur 2.2.4 Uitgewerkt model van het vormfunctieperspectief in biologisch onderzoek.

Toetsing van het vorm-functiemodel aan de hand van een praktijkvoorbeeld

In het voorgaande zijn vanuit een aantal publicaties heuristieken en een model afgeleid. Om een beeld te krijgen of en op welke wijze deze heuristieken binnen één functioneel onderzoeksprogramma een rol spelen is een interview gehouden met dr.J.H.B.Diederer, functioneel morfoloog en vroeger medewerker van de toenmalige projectgroep histologie van de Rijksuniversiteit Utrecht. In een open interview is geprobeerd tot een reconstructie van een aantal onderzoeken in de projectgroep histologie te komen met als focus de heuristische waarde van het vormfunctieperspectief. De gegevens uit dit interview staan hieronder vermeld.

Het onderzoek van de projectgroep histologie aan de Rijksuniversiteit te Utrecht was in belangrijke mate gericht op de opheldering van structuren in de hersenen van vertebraten, de circumventriculaire organen. Het ging hier om organen waarvan zowel de vorm (in de zin van structuren en processen) als de functie grotendeels of geheel onbekend was. Onderzoek aan deze structuren werd onder andere gedaan door Jansen aan de saccus vasculosus (Jansen, 1973) en door Diederer aan het subcommissurale orgaan (Diederer, 1975). De onderzoeksvraag daarbij luidde: ‘Welke functie hebben deze structuren?’. Het is dus een schoolvoorbeeld van onderzoek waarin de relatie tussen vorm en functie centraal staat. Gezien de deskundigheid van de projectgroep lag het voor de hand in eerste instantie de histologische structuur op te helderen. Hierbij kwamen merkwaardige celtypen en celproducten aan het licht, waaruit de functie van het betreffende orgaan niet direct was af

te leiden. Heuristieken die in dit onderzoek te onderkennen waren kunnen als volgt worden aangegeven.

- a. nader onderzoek en beschrijving van de opbouw
- b. vanuit bekende analoge structuren gericht zoeken naar overeenkomstige structuren
voorbeeld: de bekende samenhang tussen hypothalamus en hypofyse werd gebruikt als mogelijk model voor de onbekende samenhang tussen het pineale orgaan en het subcommissurale orgaan
- c. een proces in het orgaan verstoren en nagaan welk effect dit heeft
- d. een hypothese formuleren over een mogelijke functie en van daaruit gericht zoeken naar structuren

Hypothesen formuleren over de functie was vooral noodzakelijk bij de saccus vasculosus, waarover geen enkel beeld van de functie bestond. Indien bijvoorbeeld een functie van resorptie vanuit het hersenvocht werd verondersteld, werd de structuur van de cellen in de proximale niertubuli (die eveneens een resorptiefunctie hebben) als model gebruikt om ook in de cellen in de saccus vasculosus specifiek te gaan zoeken naar structuren die karakteristiek zijn voor resorberende cellen. Ook bij deze werkwijze werd dus gebruik gemaakt van analogieën; in dit geval was het uitgangspunt echter geen analoge *vorm* (de kroontjescellen lijken helemaal niet op de cellen in de niertubuli), maar een analoge *functie* (resorptie)⁸.

Vergelijken we deze werkwijzen met eerder geformuleerde heuristieken dan zien we dat werkwijze a een puur morfologische werkwijze is, nog zonder relatie met functie. Van een structuur die nog grotendeels onbekend is kunnen veel standaardparameters worden bepaald om een beter beeld van de cel te krijgen. Deze werkwijze wordt een heuristiek indien er hypothesen worden geformuleerd. Hiervan zijn de werkwijzen b en d voorbeelden. De heuristiek van het gebruik van analogieën zien we terug bij werkwijze b (vormanalogie) en werkwijze d (functieanalogie). Werkwijze d is een voorbeeld van de zogenaamde ‘Rudwickheuristiek’ van hypothesevorming met het afleiden van structurele specificaties daaruit. Werkwijze c is een voorbeeld van de heuristiek waarbij een effect van een vorm verstoord wordt, in de hoop daardoor zicht te krijgen op de functie.

Het ‘heen en weer denken’ tussen vorm en functie en veel van de geformuleerde heuristieken lijken derhalve in dit onderzoek duidelijk aanwezig te zijn geweest. Het model van het vormfunctieperspectief past op de gevolgde denk- en werkwijzen. Hierbij moet wel worden aangetekend dat deze heuristieken tijdens het onderzoek doorgaans niet expliciet zijn geformuleerd. Alleen achteraf is vanuit interpretatie van de onderzoeksactiviteiten te concluderen dat ze zijn gehanteerd.

⁸ Een opmerkelijk punt hierbij was dat er verschillende hypothesen over de specifieke cellen in de saccus vasculosus zijn geformuleerd. Deze cellen, die kroontjescellen worden genoemd vanwege hun uitstekende kop met een kroon van blaasjes, waren eerder ook hypothetisch als zintuigcellen en als kliercellen aangeduid. Elke hypothetische functie roept weer een nader onderzoek naar de vorm op, bijvoorbeeld naar de wijze waarop de cellen worden geïnnerveerd. Hier lijkt dus een gedeeltelijke bevestiging gegeven te worden van de stelling dat vormen niet onafhankelijk van de functie beschreven kunnen worden. Een deel van het onderzoek is ‘pure morfologie’ in de zin dat standaard-histologische onderzoeken worden uitgevoerd. Daarna wordt gericht gezocht op basis van hypothesen. Deze situatie is vergelijkbaar met een arts die bij een ziektebeeld eerst standaard-diagnostische gegevens verzamelt. Soms is daaruit meteen de diagnose al te stellen, maar vaak zal nader onderzoek nodig zijn op basis van een veronderstelling over de aard van de ziekte.

2.3 **Vorm en functie in technisch ontwerpen**

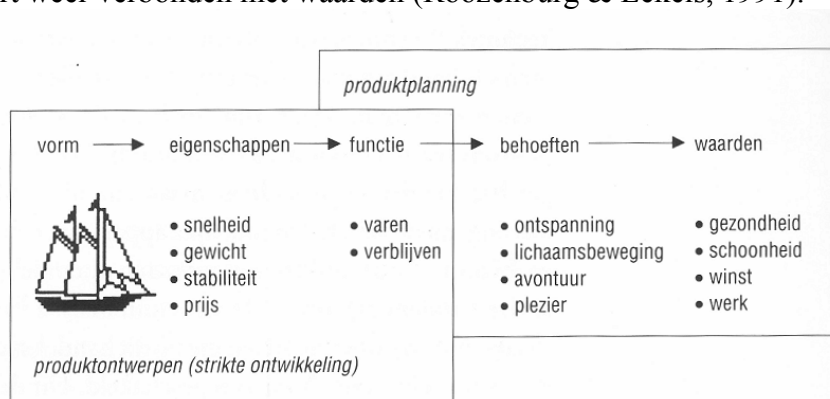
2.3.1 **Werkwijze**

Bij dit deelonderzoek is gebruik gemaakt van basisliteratuur over technisch ontwerpen (Roozenburg & Eekels, 1991; Basalla, 1988; Cross, 1989; De Vries & Tamir, 1997; Bürdek, 1996) en van gesprekken met dr. M.J. de Vries, medewerker van de opleiding Techniek en Maatschappij aan de Technische Universiteit Eindhoven en dr. J.W. Drukker, hoogleraar Geschiedenis der mens-productrelaties aan de Technische Universiteit Delft. In het vorige hoofdstuk is onderzocht of het vormfunctieperspectief instrumentele waarde heeft voor het ontwikkelen van kennis in biologisch onderzoek, en welke heuristieken door het vormfunctieperspectief worden gegenereerd. Technisch ontwerpen is te definiëren als het zoeken van een vorm bij een functie, dus de vraag of het vormfunctieperspectief instrumentele waarde heeft hoeft niet meer te worden beantwoord. Wel zal in dit hoofdstuk worden nagegaan welke heuristieken het vormfunctieperspectief in technisch ontwerpen oplevert. Om biologisch onderzoek en technisch ontwerpen goed te kunnen vergelijken, wordt eerst nagegaan in hoeverre de inhoud van begrippen als vorm, functie, systeem en ontwerp in technisch ontwerpen afwijkt van de inhoud van deze begrippen in de biologie. Vervolgens wordt het ontwerpproces beschreven en wordt de rol van de vormfunctierelatie in de verschillende heuristieken geanalyseerd.

2.3.2 **Vorm en functie van ontworpen producten**

Inleiding

Evenals bij biologische systemen is er bij ontworpen producten sprake van een wederzijdse relatie tussen vorm en functie. Een product bezit een bepaalde vorm die eigenschappen tot gevolg heeft. Deze eigenschappen dragen bij aan een functie. De functie vormt weer een concrete invulling van een menselijke behoefte, en deze behoeften zijn op hun beurt weer verbonden met waarden (Roozenburg & Eekels, 1991).



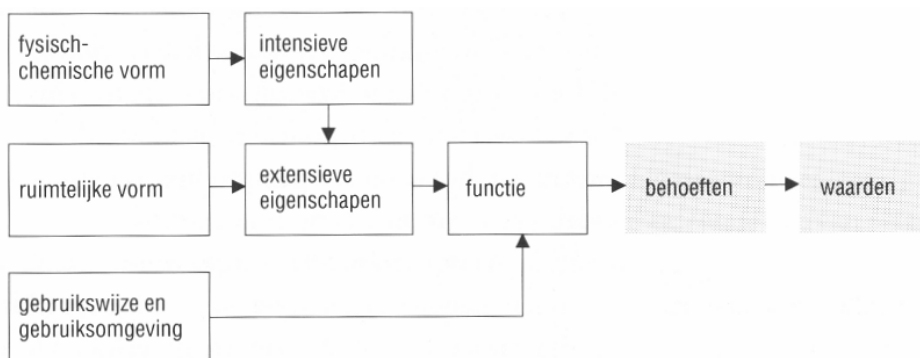
Figuur 2.3.1 De relatie tussen vorm, functie en waarden (naar Roozenburg & Eekels, 1991).

In het voorbeeld afgebeeld in Figuur 2.3.1 kan deze relatie als volgt worden weergegeven: een zeilboot heeft eigenschappen die het de gebruiker mogelijk maken de functies varen en verblijven te realiseren. De boot is gemaakt op grond van bestaande behoeften aan ondermeer ontspanning en lichaamsbeweging. Deze behoeften komen voort uit het belang dat mensen stellen in waarden zoals gezondheid. Uiteraard kan aan een waarde als

gezondheid op andere manieren tegemoet worden gekomen dan door ontspanning en lichaamsbeweging, en kan ook de behoefte aan ontspanning en lichaamsbeweging op andere wijzen worden vervuld dan door te zeilen. Van vorm naar functie naar waarde lijkt dus een vrij rechtstreekse weg, terwijl de weg andersom veel keuzemogelijkheden bevat¹. Bij het maken van deze keuzen spelen sociale en economische factoren (status, mode, welvaart) een grote rol.

Vorm

Een onderscheid dient te worden gemaakt tussen de ruimtelijke vorm (de geometrie) en het materiaal van een produkt. Bij de ruimtelijke vorm gaat het dan niet alleen om de vormen van de onderdelen, maar ook de wijze waarop de onderdelen aan elkaar bevestigd zijn. In didactische werken wordt dit aspect soms apart onderscheiden onder de term ‘constructie’. De eigenschappen van een product worden door de ruimtelijke vorm en het materiaal bepaald. Naast ruimtelijke vorm en materiaal bepalen de gebruikswijze en gebruiksomgeving de wijze waarop de vereiste functie wordt vervuld. Een eigenschap wordt doorgaans pas zichtbaar bij bepaald gebruik en in een bepaalde gebruiksomgeving. Zo laat een pen pas zijn schrijfeigenschappen zien als hij op de juiste wijze gehanteerd wordt op geschikt materiaal. (zie Figuur 2.3.2).



Figuur 2.3.2 Het functioneren van een product (naar Roozenburg & Eekels, 1991).

Hoewel Roozenburg & Eekels in het begrip ‘vorm’ ook de materiaalsamenstelling betrekken, wordt de betekenis van het begrip ‘vorm’ in de techniek meestal beperkt tot ruimtelijke vorm. Het gebruik van het product door de mens wordt aangeduid met ‘gebruikswijze’. De gebruikswijze moet worden onderscheiden van de functie. De gebruikswijze is te verbinden met een – al dan niet bestaande - gebruiksaanwijzing. Daarin staat precies welke handelingen er allemaal verricht moeten worden om het product op de juiste wijze te laten werken. De functie van het product is doorgaans de verandering die het in zijn materiële omgeving teweegbrengt, bijvoorbeeld het verwijderen van een kurk uit een fles.

In de biologie is de betekenis van ‘vorm’ veel ruimer. Uitgaande van een biologische structuur valt zowel de ruimtelijke vorm, als het biologisch materiaal, als het biologisch

¹ De weg van vorm naar functie is niet altijd rechtstreeks doordat voorwerpen nogal eens gebruikt worden op een wijze of voor doeleinden waarvoor ze niet ontworpen zijn (zoals het eerder gegeven voorbeeld van een schroevendraaier die gebruikt wordt om een pot verf te openen). Onder andere in verband met potentiële juridische schadeclaims moeten ontwerpers dus ook nadenken over niet-bedoeld gebruik.

Hoofdstuk 2 Vorm en functie in de biologie en in technisch ontwerpen

proces onder de betekenis van ‘vorm’. In Tabel 2.3.1 zijn de verschillen in betekenissen van het begrip vorm in de biologie en in de techniek naast elkaar gezet.

Tabel 2.3.1 Verschillen en overeenkomsten tussen het begrip vorm in biologie en in techniek.

Biologie		Technisch ontwerpen	
Kenmerk	heeft <i>verschijningsvorm</i>	Product	heeft <i>ontwerp</i> = voorschrift voor ruimtelijke vorm materiaal
Structuurkenmerk	in ruimte, materiaal	Object	
Proceskenmerk	en tijd	Gebruik	en gebruikswijze

Vanuit het overzicht in Tabel 2.3.1 is na te gaan of de terminologieën ten aanzien van het begrip ‘vorm’ voor biologie en techniek met elkaar in overeenstemming te brengen. Een technisch product is doorgaans te vergelijken met een biologische structuur. Een verdeling in ruimtelijke vorm en materiaal is ook bij biologische structuren te maken. De eigenschappen van biologische structuren zijn evenzeer afhankelijk van de combinatie van deze aspecten (bijvoorbeeld de ruimtelijke vorm en het materiaal van een gewricht). In de biologie kan het begrip vorm ook worden toegepast op processen. Aan een product is doorgaans ook een proces verbonden. In sommige gevallen verloopt dit proces vrij autonoom, zoals bij een verbrandingsmotor die blijft lopen als hij eenmaal is aangezet. In andere gevallen treedt pas een proces op bij gebruik door de mens, waarbij de gebruiker zelf onderdeel van de werking is, dus onderdeel van het systeem (bijvoorbeeld bij een kurkentrekker). Een ontwerper zal in zijn ontwerp niet alleen de fysisch-chemische eigenschappen en de ruimtelijke vorm van het product voorschrijven, maar ook de gebruikswijze, en daarmee de processen die in het product optreden. Alle aspecten die in de biologie in het begrip ‘vorm’ kunnen voorkomen, lijken in de techniek in het begrip ‘ontwerp’ voor te komen. Het begrip ‘vorm’ in technisch ontwerpen is dan eenvoudig te omschrijven als ‘alles wat in het ontwerp is voorgeschreven’: ruimtelijke vorm, materiaal en gebruikswijze. Dit houdt wel in dat in sommige producten de systeemgrenzen zodanig gekozen moeten worden dat de mens onderdeel vormt van het te bestuderen systeem. In het ontwerp van de kurkentrekker is de handbeweging immers meegenomen.

Functie en systeem

Een eerste betekenis van het begrip ‘functie’ wordt gegeven door Roozenburg & Eekels (1991). Zij beschrijven de functie in het licht van de na te streven waarde. Aansluitend op Figuur 2.3.1 wordt hier de functie beschouwd als de *invulling van een behoefte*. Als aan een behoefte niet of niet bevredigend kan worden voldaan, kan dat als een *probleem* worden geformuleerd waarvoor een oplossing moet worden gevonden middels een product. Het ontwerpen van een product is dan een vorm van probleemoplossend handelen. Het kan daarbij gaan om een nieuw te ontwikkelen product of om een verbetering van een bestaand product. De functie van een product wordt hierbij gedefinieerd als het ‘bedoelde en bewust aangebrachte vermogen om een transformatie in de materiële omgeving van het product te bewerkstelligen’ (Roozenburg & Eekels, 1991; p.54). Anders gezegd: in het algemeen zal een product ontworpen zijn om iets te veranderen of juist een verandering tegen te gaan. Een product kan dus ook worden gezien

als een 'black box' met een bepaalde input en output (Figuur 2.3.3). De functie is dan het proces dat binnen deze 'black box' plaatsvindt, zoals scheiden, mengen of verbinden. Niet alle functies zijn echter processen. Ondersteunen is bijvoorbeeld een veel voorkomende functie die niet als proces kan worden aangeduid. Toch is het ook hier mogelijk van input en output te spreken door de te dragen belasting als input te beschouwen en de reactiekrachten op de steunpunten als output (Roozenburg & Eekels, 1991; p.87).



Figuur 2.3.3 Een koffiemolen als black box (naar Roozenburg en Eekels, 1991).

Een ontwerper heeft echter met meer te maken dan met de gewenste functies. Naast de functies wordt het ontwerp medebepaald door een groot aantal randvoorwaarden. Bij de ontwikkeling van een product moet onder andere ook gekeken worden naar

- de hanteerbaarheid (de ergonomische functie)
- het uiterlijk (de esthetische en semantische functies, ook wel genoemd de 'producttaal' (Bürdek 1996)
- de constructiemogelijkheden
- de prijs en seriegrootte (de bedrijfseconomische functie)

Uiteindelijk moet het product immers meestal verkocht worden, dus behalve dat het moet voldoen aan de gewenste functies, moet het ook betaalbaar zijn, betekenis hebben voor de klant en de fabrikant winst opleveren. Hierbij wordt niet alleen de gebruiksfase betrokken bij het oordeel over de functies, maar de totale levenscyclus, inclusief de fase van het afdanken en het eventueel hergebruiken. Bij verschillende stadia speelt naast de markt ook de overheid een rol via voorschriften voor fabricage in verband met recycling (bijvoorbeeld de eis dat het strooituitje van kartonnen strooipakjes ook van karton moet zijn). Anderzijds is ook het begrip 'klant' steeds breder geworden doordat wensen van bijvoorbeeld de directe gebruiker, de eigenaar/verhuurder en het bedienend personeel tegen elkaar afgewogen moeten worden. Bij het ontwerp van een touringcar zijn de passagiers, de chauffeur en de eigenaar van het bedrijf allen klanten met verschillende wensen. Binnen een bedrijf kan zelfs de ene afdeling gezien worden als een klant van de andere (De Vries, 1995a). In het ontwerp moeten dus als randvoorwaarden zaken als constructiemogelijkheden, hanteerbaarheid, prijs en overheidsvoorschriften meegenomen worden.

Een uitwerking van het beeld van een product als black box met input en output is de systeembenadering. Hierbij wordt een technisch product beschouwd als een systeem waarbij input en output van materie, energie en informatie te onderscheiden zijn in (De Vries, 1999). Zoals eerder gesteld is een belangrijk kenmerk van systemen dat ze doorgaans opgebouwd zijn uit deelsystemen. De functie van de deelsystemen staat ten dienste van het systeem van hogere orde. Een product kan dus gezien worden als een systeem met deelsystemen, maar ook als onderdeel van een groter systeem. Dit punt is van belang bij de analyse van een probleem. De problematiek van luchtvervuiling door auto's

kan worden aangepakt op een component van een auto (bijvoorbeeld een katalysator op de uitlaat), maar ook op een systeem van hogere orde, bijvoorbeeld het rijgedrag (systeem auto + chauffeur), of het beleid ten aanzien van verkeer en vervoer in een stad (vervoerssysteem). Het is dus van belang de grenzen aan te geven van het systeem waaraan gewerkt wordt. De keuze van de systeemgrenzen bepaalt de oplossing die gevonden wordt. In de praktijk zijn de grenzen van het te ontwerpen systeem echter vaak al vastgelegd door de opdrachtgever. Een ontwerper in dienst van een autoindustrie kan wel de opdracht kunnen krijgen aan een katalysator te werken, maar niet aan een ander verkeerssysteem. Hoe hoger het niveau van het systeem, des te sterker zullen maatschappelijke en persoonlijke waarden er een rol in spelen. In die zin is zelfs een technologisch complex product zoals een vliegtuig evenzeer technisch als maatschappelijk bepaald. Dat geldt echter niet automatisch voor de deelsystemen van zo'n product zoals een landingsgestel. Een deelsysteem staat alleen ten dienste van het hogere systeem en kan daarin wel puur technische functies vervullen, ook al heeft het hogere systeem ook andersoortige functies. De functie van het totale systeem is niet gelijk aan de optelsom van de functies van de deelsystemen. Een belangrijke reden waarom het van belang is de systeemgrenzen in het oog te houden, is dat het functioneren van een product afhangt van hoe de gebruiker ermee omgaat. Zoals hierboven al aangegeven is, vormt de mens vaak een onderdeel van het te bewerken systeem. Bij het ontwerp moeten dan ook de mogelijkheden en beperkingen van de menselijke waarneming en handeling worden betrokken². Tegenwoordig vormt het mogelijk faalgedrag van de gebruiker een aspect dat in alle ontwerpfasen wordt betrokken (de Vries, 1995b)³.

De hierboven beschreven versies van het begrip functie zijn te verbinden met functiebegrippen in de biologie. Het formuleren van de functie ten dienste van het hogerliggende systeem, komt overeen met de hantering van *functie als causale rol*. De gemeenschappelijke basis van de systeembenadering in de techniek en in de biologie maakt het mogelijk om zowel ontworpen producten als biologische structuren en processen te zien als systemen die bijdragen aan de werking van een omvattend systeem. Binnen de techniek is deze omschrijving nog wat aangescherpt, en worden functies omschreven als een gewenste omzetting van materie, energie en/of informatie. Bij technische producten moet in bepaalde gevallen de combinatie van product en gebruiker als systeem beschouwd worden.

Daarnaast zijn in de techniek functies aan te duiden als vertalingen van behoeften. Behoeften zijn bij technische producten afgeleid van waarden. Het ontwerpen en maken van het product is intentioneel, probleemoplossend handelen. In de biologie spreken we over ontwerpen steeds in een 'alsof'-manier. Dat betekent dat in de biologie er niet vanuit wordt gegaan dat de vormfunctierelaties het gevolg zijn van intentioneel handelen, maar

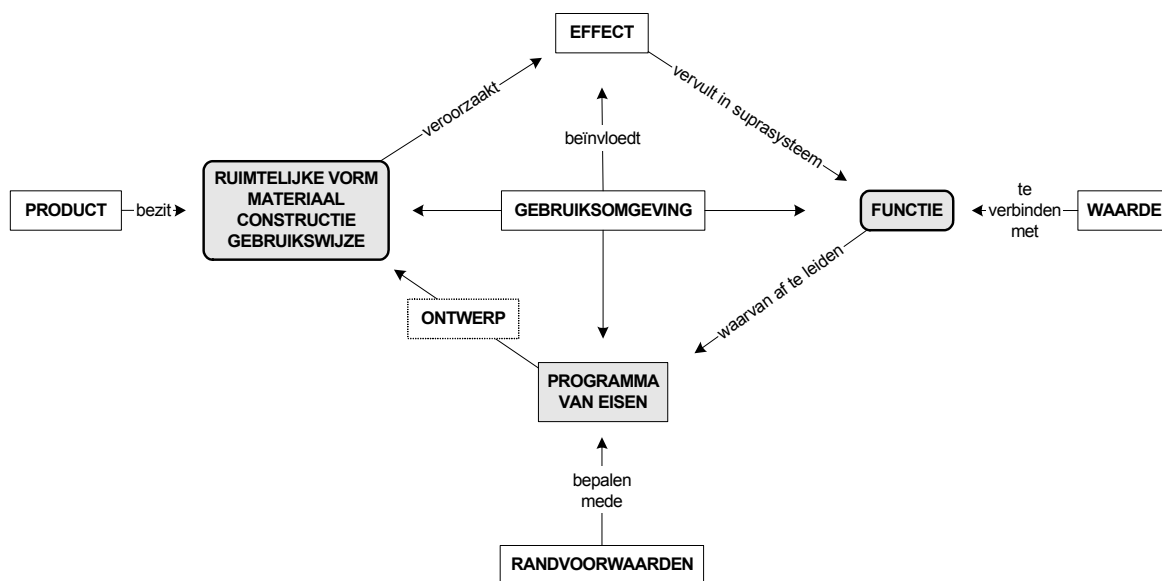
² Voor een overzicht van wat daarbij allemaal fout kan gaan zie Norman (1998)

³ Het gedrag van de gebruiker heeft ook op een andere manier invloed op het product, namelijk via de context waarin het product wordt gebruikt. De context van het gebruik kan bepalen of een bepaald verschijnsel überhaupt als probleem naar voren komt en dus een vraag naar een te vervullen functie wordt. Naast het begrip functie lijkt hier het begrip 'betekenis' een rol te gaan spelen. Voorwerpen worden niet alleen gebruikt, maar ook geïnterpreteerd in een bepaalde context. Er wordt bijvoorbeeld veel onderzoek gedaan naar verbetering van zitmeubilair op de werkplek op basis van klachten van personeel. Dezelfde personen kunnen echter in een heel andere context urenlang zonder klachten op ergonomisch heel wat slechter meubilair zitten, bijvoorbeeld in een bar. Sociaalculturele factoren spelen hierbij wellicht een grotere rol dan natuurwetenschappelijke of technische zoals ergonomie, constructie en productie (Bürdek, 1996).

wel dat we in onze pogingen om deze te begrijpen en verklaren naar levende organismen kijken als waren deze het product van een ontwerper. Via deze redeneerwijze kunnen we in de biologie toch een zekere analogie formuleren ten aanzien van functies als afgeleide van waarden: functies zijn terug te voeren tot bijdragen aan het reproductief succes van de drager van het kenmerk, het organisme. Analoog geredeneerd zou men het reproductief succes de ultieme en enige 'biologische waarde' kunnen noemen. Noch in de techniek, noch in de biologie kan een functie dus bestaan als deze niet verbonden is met een achterliggende waarde.

De relatie tussen vorm en functie

Functies stellen eisen waaraan het te ontwikkelen product moet voldoen. Daarnaast zijn er randvoorwaarden zoals prijs en constructiemogelijkheden die ook hun eisen stellen. Beide worden samengevat in een 'programma van eisen'. Vanuit een programma van eisen worden verschillende ontwerpen opgesteld. Een ontwerp is een voorschrift voor de ruimtelijke vorm, de fysisch-chemische vorm en de gebruikswijze. Als het ontwerp (de vorm) gerealiseerd is, kan worden getest of de gewenste eigenschappen zich voordoen en of daarmee de gewenste functie naar behoren kan worden vervuld. Hiermee is de cirkel weer gesloten. (zie Figuur 2.3.4)



Figuur 2.3.4 Relaties tussen vorm en functie bij technisch ontwerpen.

De verbinding van vorm naar functie is van andere aard dan de verbinding van functie naar vorm. De vorm is via de eigenschappen causaal verbonden met de functie. Via de geometrie, materiaaleigenschappen en gebruikswijze van bijvoorbeeld een kurketrekker leidt de vorm naar de functie. De vraag hoe de kurketrekker werkt kan worden beantwoord via toepassing van natuurwetenschappelijke kennis of door natuurwetenschappelijk onderzoek.

Bij het ontwerpen speelt echter vooral de omgekeerde relatie: ‘De kern van dat (ontwerp)probleem is: het redeneren van functie naar vorm’ (Roozenburg & Eekels, 1991; p.51). Daar er altijd veel vormen zijn die potentieel een gewenste functie kunnen vervullen, is ontwerpen een open proces, dat veel adequate oplossingen mogelijk maakt. Hier kan doorgaans niet rechtstreeks op grond van natuurwetenschappelijke gegevens voorspeld worden welke vorm het meest geschikt is. De gemaakte keuzen kunnen echter wel afzonderlijk worden geëvalueerd via wetenschappelijke methoden, maar het keuzeprocess zelf blijft altijd een creatief en onvoorspelbaar element houden⁴. In paragraaf 2.3.3 wordt het ontwerpproces nader uitgewerkt.

Veranderingen van vorm en functie

Een product is bestemd voor een bepaald gebruik in een bepaalde context. Het introduceren van het product kan echter de context veranderen waardoor er andere problemen kunnen ontstaan, andere wensen naar voren komen of het product een andere functie krijgt. ‘Every artefact introduced into the universe of people and things alters the behavior of both’ (Petroski, 1993; p.235). Petroski beschrijft ondermeer de ontwikkeling van het gebruik van het bestek in de westerse maatschappij. De vork was oorspronkelijk bedoeld om het vlees bij het snijden vast te houden, en kreeg later de functie erbij van het eten naar de mond brengen erbij (dat gebeurde voorheen met de mespunt). Deze nieuwe functie leidde ook weer tot een bijstelling van de vorm. De analogie met biologische voorbeelden waarbij een structuur in de evolutionaire ontwikkeling een andere functie krijgt en daardoor ook zelf weer verandert, dringt zich hierbij op.

Invoering van een nieuw product kan ook door de invloed die het heeft op het gedrag van de gebruiker een nieuw probleem oproepen. Een voorbeeld hiervan is het invoeren van plastic afvalzakken in afvalbakken. Dit was oorspronkelijk bedoeld als maatregel ter verbetering van de hygiëne, maar bracht met zich mee dat klanten in fastfood-restaurants ook halfvolle drinkbekers en andere vloeibare zaken in de afvalbak wierpen. Hierdoor ontstonden er situaties die hygiënisch gezien eerder een achteruitgang betekenden. Dergelijke onvoorspelde gedragingen leiden dan weer tot nieuwe producten die weer nieuw gedrag veroorzaken. Het gegeven dat de situatie waarin behoefte ontstaat aan een bepaald product door de invoering van dit product zelf verandert en zo weer andere behoeften schept wordt door Caplan (o.a. in Petroski, 1993) met de term ‘product-situation cycle’ aangeduid. Een andere factor die de ontwikkeling van producten in gang houdt, is verandering in de randvoorwaarden. Een voorbeeld hiervan is de ontwikkeling van nieuwe constructiemogelijkheden of nieuwe materialen waardoor nieuwe mogelijkheden worden geschapen en oude belemmeringen vervallen.

2.3.3 Het ontwerpproces

Modellen van het ontwerpproces

Het is de vraag of het wel mogelijk is een algemeen geldende beschrijving van het ontwerpproces te geven los van het te ontwerpen product. Uit een onderzoek naar het

⁴ Dat de precieze relatie tussen functie, ontwerp en fysiek object nog veel vragen oproept, blijkt uit het project ‘Dual nature of artifacts’, een recente samenwerking tussen de Technische Universiteiten in Delft en Eindhoven en enkele buitenlandse universiteiten. Met ‘dual nature’ wordt aangegeven dat ontworpen producten beschreven moeten worden met zowel fysieke natuurwetenschappelijke termen als met functionele termen (www.dualnature.tudelft.nl).

ontwerponderwijs binnen diverse studierichtingen aan de Technische Universiteit Delft bleek dat elke opleiding daar weer andere ideeën over had en dat leren ontwerpen binnen de bouwkundeopleiding een heel andere invulling had dan leren ontwerpen in de opleiding industrieel ontwerpen (Van Keulen, 1998). Niet alleen verschilt architectuur in situatie sterk van industrieel ontwerpen, ook binnen industrieel ontwerpen is er sprake van grote verschillen tussen de technologieën wat betreft de aard van het ontwerpproces. Sarlemijn (1993) onderscheidt hierin ‘experience technology’ (bijvoorbeeld huishoudelijke apparatuur), ‘macro-technology’ (bijvoorbeeld vliegtuigindustrie) en ‘microtechnology’ (bijvoorbeeld biotechnologie). De rol van de wetenschap en van de overheid is bij alle drie verschillend. Ontwerpen binnen microtechnology betekent dat er tevens nog veel wetenschappelijk werk verzet moet worden doordat het gedrag van de componenten nog niet voldoende bekend is. Bij macrotechnologie daarentegen wordt vooral gebruik gemaakt van bekende wetenschappelijke terreinen zoals de klassieke mechanica.

Er zijn ook andersoortige twijfels over het bestaan van een algemeen geldende beschrijving van het ontwerpproces. Analoog aan de beschrijving van het natuurwetenschappelijke onderzoeksproces kan ook van het ontwerpproces betwijfeld worden of de geformuleerde procedures in de praktijk ook in die volgorde worden doorlopen. Desondanks lijkt er wel consensus te zijn over de beschrijving van ontwerpen als een proces waarin probleemoplossen een rol speelt, met stappen die in alle modellen terugkeren. De stappen of componenten die het meest worden vermeld zijn analyse, synthese en evaluatie (Cross, 1989; Roozenburg & Eekels, 1991; Grant, 1993).

1. Analyse Aangezien ontwerpen het werken van functie naar vorm is, dient de eerste stap ook met de functie te beginnen. Dat het begrip ‘functie’ bij een product breed opgevat moet worden, zagen we al in de vorige paragraaf. In de analysefase vormt de ontwerper zich een beeld van de probleemstelling. In veel gevallen zal dat overigens een bestaand product zijn dat verbeterd moet worden. De analyse levert uiteindelijk een ‘programma van eisen’ op. Hierin zit al een zekere keuze van de ontwerper. Twee bedrijven of ontwerpers kunnen vanuit hetzelfde probleem met een verschillend programma van eisen komen.
2. Synthese De tweede stap bestaat uit het genereren van meerdere ontwerpvoorstellen die voldoen aan het programma van eisen. De term ‘synthese’ wijst erop dat in deze fase een integratie van deeloplossingen moet plaatsvinden. De fase kan wel met deelvoorstellen beginnen, maar moet afsluiten met werkende gehelen (systemen). In de synthesefase worden in sterkere mate dan in de analysefase keuzen gemaakt, omdat oplossingen in principe in veel richtingen denkbaar zijn.
3. Evaluatie In de afsluitende fase worden de ontwerpvoorstellen getoetst aan het programma van eisen. Hierbij kan simulatie een rol spelen, hoewel simulatie soms als een aparte schakel tussen synthese en evaluatie wordt geformuleerd. Uiteindelijk valt er in deze fase een beslissing over doorgaan of teruggaan naar een eerdere stap.

Sommige modellen van het ontwerpproces met dergelijke stappen zijn vrij lineair, waarbij ontwerpen wordt gezien als een opeenvolging van steeds preciezere voorschriften op weg naar het definitieve ontwerp (Eder, 1993). Bürdek (1996) en Grant (1993) geven aan dat latere modellen van het ontwerpproces tussen dezelfde elementen meer terugkoppeling

vertonen. Bij deze meer cybernetische varianten worden analyse-, synthese- en evaluatiestappen meerdere malen genomen totdat geld, tijd of geduld op is (Grant, 1993). De mate van lineariteit in het ontwerpproces zal ook afhangen van het soort product dat wordt ontworpen, en of er sprake is van 'experience technology', 'macro-technology' of 'microtechnology'. In principe kunnen iteraties eindeloos doorgaan omdat een probleem doorgaans nooit definitief kan worden opgelost. Varianten op dit basismodel vormen vaak een uitbreiding, bijvoorbeeld met een laatste fase 'testen en implementeren' (model van Rittel, genoemd in Bürdek, 1996) of met de fase 'simulatie' tussen de synthese- en evaluatiefase in (Roozenburg & Eekels, 1991).

In de meest recente modellen wordt ontkend dat de creatieve syntheses stap voortkomt uit de analysestap. Grant (1993) noemt als andere bronnen voor de syntheses stap ondermeer het gebruik van 'trial and error' en van analogieën en metaforen uit andere toepassingsgebieden. Analogieën kunnen een goede bron zijn om er achter te komen welke soort zaken er eigenlijk in een programma van eisen moeten komen te staan. Cross (1989) wijst er op dat werken aan de oplossing van een probleem vaak een manier is om tot een preciezere omschrijving van het probleem te komen. In de praktijk komen analyse-, synthese en evaluatiestappen dus wel allemaal voor, maar meestal niet in een vaste volgorde. Er kan bijvoorbeeld ook gestart worden met het uitproberen van een of meer voorlopige ontwerpen (een stap uit de evaluatiefase dus!), om een beter beeld te krijgen van de eisen waaraan moet worden voldaan. Rittel (in Cross, 1984; p.321) geeft hiervan een indruk in het volgende citaat: "These (new) methods are characterized by a number of traits, one of them being that the design process is not considered to be a sequence of activities that are pretty well defined and that are carried through one after another...and another being the insight that you cannot understand the problem without having a concept of the solution in mind." In plaats van een lineair denken dus een vorm van 'heen en weer denken' waarbij veelvuldig ideeën uitgetest worden in een proces van 'conjecture and refutation'.

'form follows function'

Een stroming die lange tijd invloed gehad heeft op het ontwerpen is het functionalisme. Rond 1850 ontstond een hervormingsbeweging die werkte volgens het uitgangspunt dat later door Sullivan werd samengevat als 'form follows function'. De betekenis hiervan was, dat de taak van een ontwerper lag in het op basis van de analyse van maatschappelijke noden, ontwikkelen van oplossingen die zich kenmerkten door een maximum aan functionaliteit (Bürdek, 1996; p.54). Dit is dus niet zozeer een beschrijving van hoe ontwerpen in zijn werk gaat als wel een voorschrift voor het ontwerpen, en met name een voorschrift voor het weglaten van zaken die niet bijdragen aan de functie. Deze visie werd het duidelijkst naar voren gebracht in de Bauhaus-kunstopleiding die in 1919 in Duitsland werd opgericht, en waarin met name in architectuur en kunstnijverheid een uitgangspunt was dat de vorm door de functie bepaald moest worden. In de jaren '70 is dit uitgangspunt grotendeels verlaten.

Impliciet is de 'form follows function' visie tevens verbonden met de opvatting dat het ontwerpproces sterk lineair vanuit de analyse naar de synthese verloopt (Steadman, 1979). Inmiddels zijn er, zoals beschreven in de vorige paragraaf, nog maar weinig ontwerpers van overtuigd dat het ontwerpproces op die manier verloopt. Petroski (1993) beschrijft de voornaamste drijfveer achter het proces van ontwerpen met een knipoog naar het hiervoor genoemde als 'form follows failure'. Ontwerpvoorstellen komen voort uit

ervaren tekortkomingen van bestaande ontwerpen. “Every artifact is somewhat wanting in its function and this is what drives its evolution.” (Petroski, 1993; p.22). Veel beschrijvingen van ontwerpers en uitvinders bevestigen dit, bijvoorbeeld Rabinow (in Petroski, 1993): “finding fault with existing things...(is the)...origin of invention”. Perfectie bestaat per definitie niet, omdat ontwerp altijd een keuze inhoudt voor bepaalde uitwerkingen; geen enkel ontwerp kan alle eisen tegelijk voldoen. Een andere oorzaak dat perfectie niet bereikt wordt, is al in de vorige paragraaf genoemd: elk product heeft ook een verandering van de context tot gevolg die vaak weer leidt tot een nieuwe probleemsituatie.

Volgens Alexander hoeft een nieuwe vorm niet eens altijd uit een ontwerp voort te komen en kunnen zelfs *ongerichte* veranderingen van een product leiden tot verbetering mits er een ‘agent’ is die de functionaliteit beoordeelt (Petroski 1993, p.30). Deze werkwijze doet sterk denken aan een mutatie-selectiemodel.

2.3.4 Heuristieken bij ontwerpen

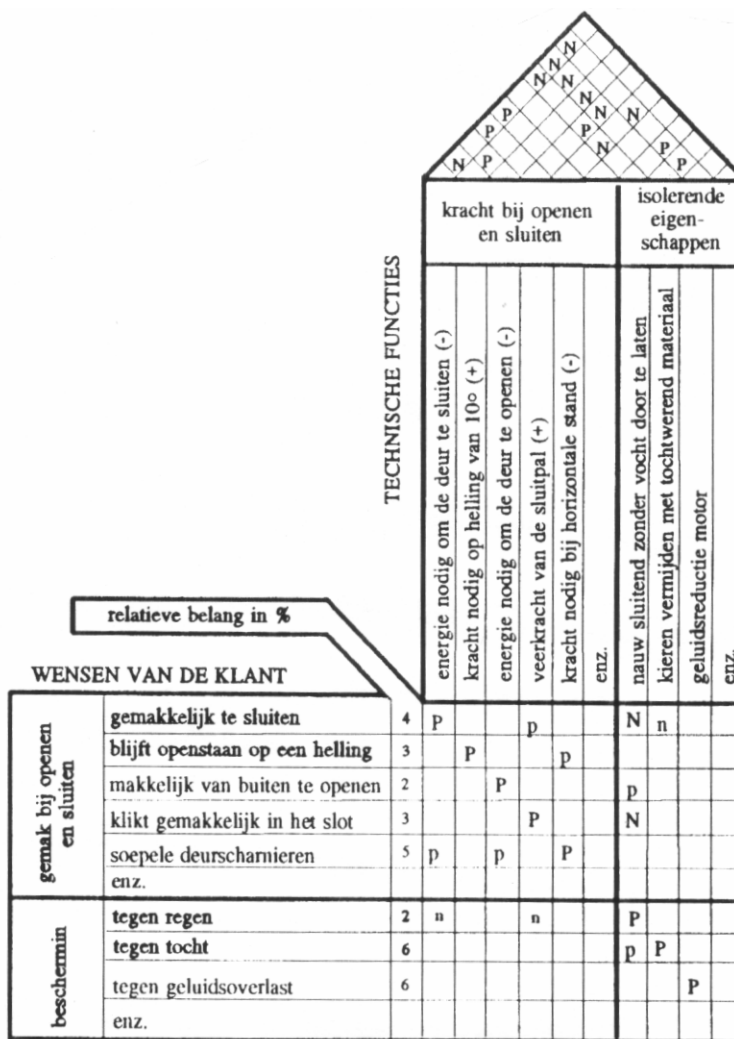
In het ontwerpproces spelen heuristieken een rol die alle als doel hebben een optimale afstemming van de vorm op de functie te bewerkstelligen. In die zin zijn onderstaande heuristieken dus allen te beschouwen als vormfunctieheuristieken. Hoewel uit de vorige paragraaf blijkt dat het ontwerpproces vaak niet lineair verloopt, is voor de indeling van deze heuristieken toch de volgorde analyse – synthese - evaluatie aangehouden, zonder daarmee te bedoelen dat de heuristieken ook in die volgorde aangewend worden.

Heuristieken in de analysefase

Er zijn verschillende methoden om tot een goed en volledig programma van eisen te komen (Roozenburg & Eekels, 1991). Uit Figuur 2.3.3 blijkt al dat de functie van een product kan worden beschreven als de capaciteit om een gegeven input te veranderen in de gewenste output. De uitgangssituatie zonder het product (of met een ontoereikend product) kan daarbij als probleem worden geformuleerd. In die zin is het ontwerpen van een product een vorm van probleem-oplossen. Daartoe moet het probleem eerst helder in kaart worden gebracht. Volledigheid kan onder andere worden bevorderd door het gebruik van checklists waarbij een overzicht ontstaat van de betrokkenen bij het uiteindelijke product (gebruiker, producent, leverancier, overheid), de aspecten waarover criteria kunnen worden ontwikkeld (de uiteindelijke gebruiksfunctie is maar één aspect), en de levensloop van het product (ontstaan, verspreiden, gebruiken, verdwijnen).

Een andere manier om de doelstellingen van het ontwerp helder te krijgen, is het uitwerken van de doelstellingen in een ‘objectives tree’ (Cross, 1989). Hierin worden de doelstellingen hiërarchisch geordend. Daaruit kan blijken dat er nog onuitgesproken doelen meespelen die met dit instrument naar voren worden gehaald, en tevens blijkt op welke wijze de doelstellingen met elkaar verbonden zijn.

Een instrument dat bedrijven helpt om op systematische wijze van klantwens naar product te werken is ‘Quality Function Deployment’ of QFD (Sarlemijn & Boddendijk, 1995).



Figuur 2.3.5 QFD schema voor een autodeur (naar Sarlemijn, 1995).

Via bepaalde schema's vinden vertalingen plaats van de wensen van de klant naar na te streven technische eigenschappen, die op hun beurt weer vertaald worden in steeds preciezere eisen waaraan het te ontwikkelen product moet voldoen. Dit kan men beschouwen als een vertaling van gewenste functie naar te bereiken vorm. Andersom wordt van gegeven eigenschappen berekend in hoeverre ze bijdragen aan een bepaalde functie. Zo kan bijvoorbeeld de lengte van een potlood bijdragen aan de functie 'gemakkelijk vast te houden'. Ontwerpproblemen komt men op het spoor door na te gaan in hoeverre technische functies met elkaar verenigbaar zijn. Verder wordt ook bepaald welk relatief belang de klant hecht aan een bepaalde wens, en wat de prestaties van concurrerende merken zijn. Meetbare eigenschappen worden zoveel mogelijk in cijfers vastgelegd. Een en ander wordt gebruikt om beslissingen te nemen in het kwaliteitsmanagement. QFD werkt vooral bij verbetering (redesign) van bestaande ontwerpen. Het vervangt de beleidskeuzen niet, omdat QFD alleen vanuit een gemaakte keuze een hulp bij de kwaliteitsverbetering kan zijn. In Figuur 2.3.5 is een QFD-schema te zien voor een autodeur. De 'vertaling' gaat van 'wensen van de klant' naar 'technische

functies'. De P en N staan voor respectievelijk goede en slechte verenigbaarheid. Zo zijn problemen in de ontwikkeling op te sporen.

Naast QFD zijn er andere methoden ontwikkeld die allemaal als kenmerk hebben dat in alle fasen van het ontwerpproces steeds weer het functioneren in brede zin wordt onderzocht; niet alleen het functioneren tijdens normaal gebruik, maar ook door tevoren rekening te houden met faalgedrag, met de fase na het gebruik, het onderhoud, etc. Dit wordt in zijn algemeenheid aangeduid met kwaliteitsdenken en is momenteel van grote invloed op het industrieel ontwerpen.

Heuristieken in de synthesefase

Bij de stap van programma van eisen naar ontwerp (of eenvoudigweg direct naar het ontwerp) kunnen een aantal specifieke methoden helpen om meerdere oplossingen te genereren (Roozenburg & Eekels, 1991; Grant, 1993). Een onderscheid kan gemaakt worden in associatieve methoden, creatieve confrontatiemethoden en analytisch-systematische methoden.

Bij associatieve methoden wordt geprobeerd een zo groot mogelijk aantal ideeën op tafel te krijgen om zodoende de kans te vergroten dat er wat bruikbaar zit. De gedachte hierachter is dat goede ideeën soms niet naar voren komen, omdat men het denken teveel beperkt door rekening te houden met randvoorwaarden die achteraf misschien geen rol hoeven te spelen. De bekendste vorm is brainstorming, waarbij groepsgewijs voorstellen worden gedaan waarop in eerste instantie kritiek verboden is. Een wat meer gestructureerde methode om het denken te verruimen is te werken met een lijst van bewerkingen die je in gedachten met een probleem of product moet uitvoeren. Deze lijst wordt 'SCAMPER' genoemd, wat staat voor Substitute, Combine, Adapt, Modify, Put to other uses, Eliminate, Rearrange. Deze methode doet sterk denken aan de 'thinking tools' die kunnen worden gebruikt als instrument voor creatief denken (Thornburg & Thornburg, 1989).


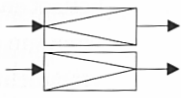
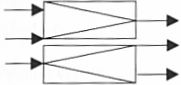
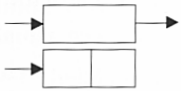

Een andere manier die misschien onder associatieve methoden valt te plaatsen is het maken van schetsen. Het maken van schetsen blijkt te kunnen fungeren als denkinstrument, naast het gebruik als communicatiemiddel om met anderen over de ontwerpideeën te kunnen praten (Spillers & Newsome, 1993). "I draw *something*. Even if it's 'potty' I draw it. The act of drawing seems to clarify my thoughts" (de ontwerper Jack Howe, geciteerd in Cross, 1989). De genoemde methoden zijn duidelijk heuristieken, maar ze zijn niet goed te plaatsen in het vormfunctieperspectief. Daarom blijft hier een schema als bij QFD achterwege.

Het hoofdkenmerk van creatieve confrontatiemethoden is dat er gewerkt wordt met analogieën. Hierbij wordt het probleem of te ontwerpen product vergeleken met situaties uit een heel ander gebied. In veel gevallen leveren zijn analogieën voor technische ontwerpen ontleend aan biologische objecten. Zo is onderzoek gedaan naar de radula (rasptong) van slakken als analogie van de tandenriem in baggerwerktuigen, om na te gaan of hier mogelijke oplossingen lagen voor het slijtage- en vervangingsprobleem van de tanden tijdens het baggeren. (Roozenburg & Eekels, 1991). Steadman (1979) geeft een overzicht van de diverse analogieën die de biologie aan de techniek geleverd heeft, alsmede van de problemen die kunnen ontstaan als deze analogie-methode als voorschrift wordt gebruikt in plaats van als heuristiek. Analogieën kunnen berusten op een vormovereenkomst, zoals bij de radula van de slak en de tandenriem van de baggermachine. Daarnaast kunnen ook analogieën worden gebruikt die een overeenkomst

Hoofdstuk 2 Vorm en functie in de biologie en in technisch ontwerpen

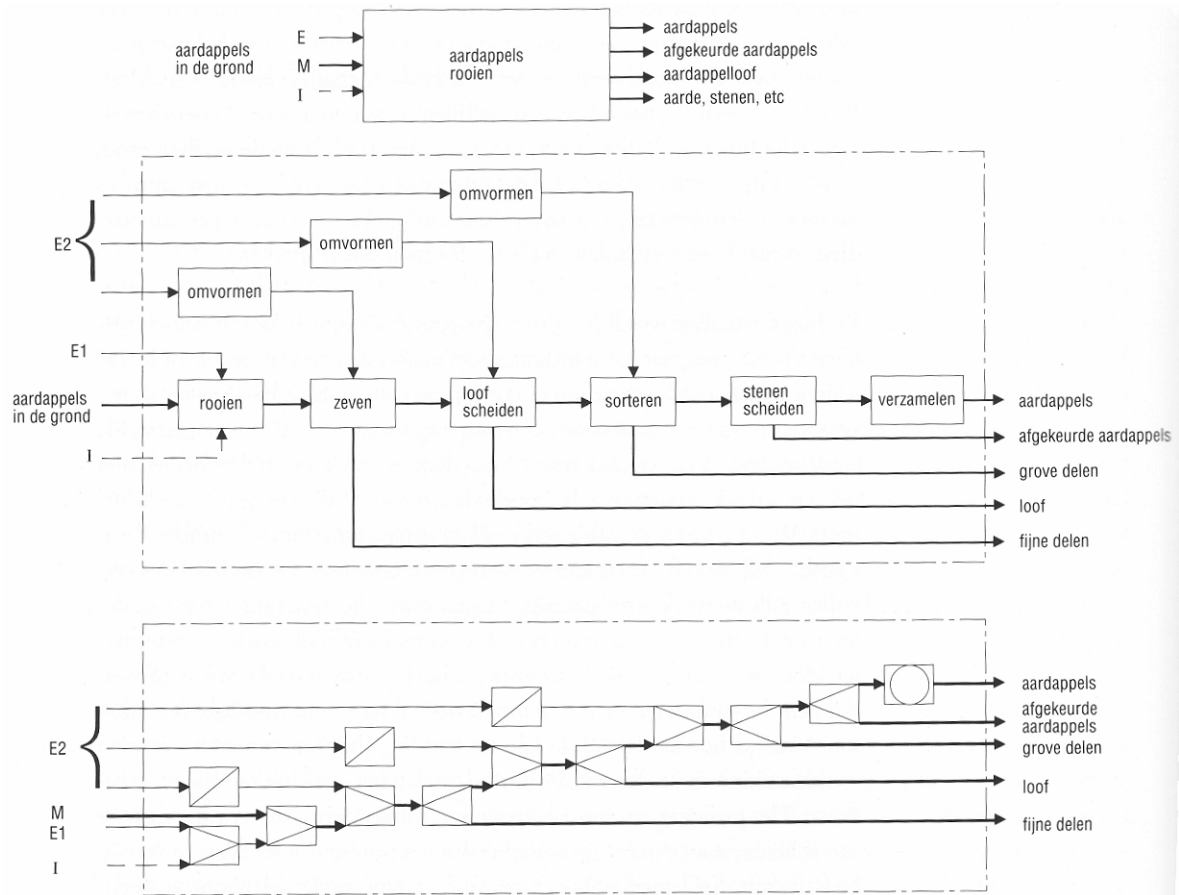
in functies vertonen. Zo kan een te bereiken functie ‘oprichten van een omgeslagen zeilboot’ worden vergeleken met diverse manieren waarop dieren die op hun rug liggen zich weer oprichten, ook al is er in vorm geen enkele overeenkomst. Hierbij worden vaak functies uitgewerkt in onderlinge relaties tussen deelfuncties. Tenslotte kunnen analogieën ook breder worden gehanteerd, zoals in de ‘synectics’ methode. Daarin wordt als het ware in- en uitgezoomd op het probleem door het van alle kanten te bekijken, en door daarnaast ook te werken met analogieën die niets technisch meer bezitten, zoals beschrijvingen met een spreekwoord, of door persoonlijk inleven door je voor te stellen dat je de gewenste functie met je lichaam moet uitvoeren. Analogieën kennen hun succesverhalen en hun falen. Een voorbeeld van het eerste is de ontwikkeling van de elektronenmicroscop, die een duidelijk voorbeeld is van een vormanalogie met de lichtmicroscop (met in beide een lens die de stralengang beïnvloedt). Een voorbeeld van een vormanalogie die in een doodlopende weg resulteerde was de ontwikkeling van de transistor. Hierbij werd in eerste instantie een ontwerp gehanteerd dat rechtstreeks was afgeleid van de vorm waarin de analoge componenten in de buislamp voorkwamen. De analogie lag voor de hand, waardoor het enige tijd duurde voordat men ervan afstapte toen het niet bleek te werken (Sarlemijn, 1993).

Bij analytisch-systematische methoden worden op systematische wijze ofwel functies ofwel vormen in kaart gebracht. Bij functieanalyse gebeurt het eerste: het eindproduct van de functieanalyse is een functiestructuur. Hierin wordt de gewenste functie zover mogelijk uitgewerkt zodat de input en gewenste output door relaties van deelfuncties met elkaar verbonden raken. Hierbij worden functies doorgaans aangeduid met een combinatie van een zelfstandig naamwoord en een werkwoord. Cross (1989) noemt deze techniek overigens als methode binnen de analysefase. In de praktijk zal functieanalyse waarschijnlijk zowel kunnen leiden tot het verhelderen van het probleem als tot het vinden van een oplossing.

kenmerk ingang (I) uitgang (U)	algemene functies	symbolen	toelichting
hoedanigheid	omvormen		aard en vorm van I en U verschillen
grootte	veranderen		$I < U$ $I > U$
aantal	verbinden		aantal $I > U$ aantal $I < U$
plaats	geleiden		plaats $I \neq U$ plaats $I = U$
tijd	opslaan		tijd $I \neq U$

Tabel 2.3.2 Symbolen voor input, output en functie in een functieanalyse (naar Roozenburg & Eekels, 1991).

Tabel 2.3.2 geeft de relatie aan tussen de input, output en functie, met de daarvoor gebruikte symbolen. Figuur 2.3.6 toont een voorbeeld van functieanalyse van een aardappelrooimachine.



Figuur 2.3.6 Functieanalyse van een aardappelrooimachine (naar Roozenburg & Eekels, 1991).

Een methode waarmee vanaf de ‘vormkant’ wordt gewerkt naar een ontwerp is de morfologische kaart (Figuur 2.3.7). Hierbij wordt een matrix gemaakt waarbij voor elke deelfunctie de mogelijke oplossingen (vormen) worden beschreven of getekend. Voor het uiteindelijke ontwerp moet dan een combinatie van deze oplossingen worden gemaakt. In principe zijn er net zoveel combinaties mogelijk als het product van de aantallen oplossingen per deelfunctie. Als er vijf deelfuncties zijn met elk drie oplossingen zijn er dus $3 \times 3 \times 3 \times 3 \times 3$ combinaties. In de praktijk zijn er veel combinaties die niet mogelijk of praktisch zijn, zodat er toch maar een paar combinaties over blijven. Voor het opsporen van deze mogelijkheden en onmogelijkheden zijn weer andere methoden beschikbaar.

Heuristieken in de simulatie- en evaluatiefase

Simulatie en evaluatie werken van vorm naar functie en testen of een gekozen vorm voldoet. De methoden die hier gebruikt worden en de vragen die hierbij gesteld worden, vallen onder een natuurwetenschappelijke of sociaal wetenschappelijke werkwijze: het ontwerp kan beschouwd worden als een voorspelling over het functioneren

Hoofdstuk 2 Vorm en functie in de biologie en in technisch ontwerpen

die getoetst kan worden. Een voorbeeld daarvan is het werken met diverse typen modellen van het product.

Zoals gesteld in het begin van deze paragraaf kan het ontwerpproces ook in deze fase starten met het beproeven van voorlopige ontwerpen.

oplossingen		deelfuncties			
		1	2	3	4
1	rooien				
2	zeven				
3	loof-scheiden				
4	stenen scheiden				
5	aardappelen sorteren	met de hand	wrijving (hellend vlak)	zakken vul-machine	wegen
6	vezamelen	kantelbare container	lopende band	gatenmal	...

↓ combinatie van principe-oplossingen

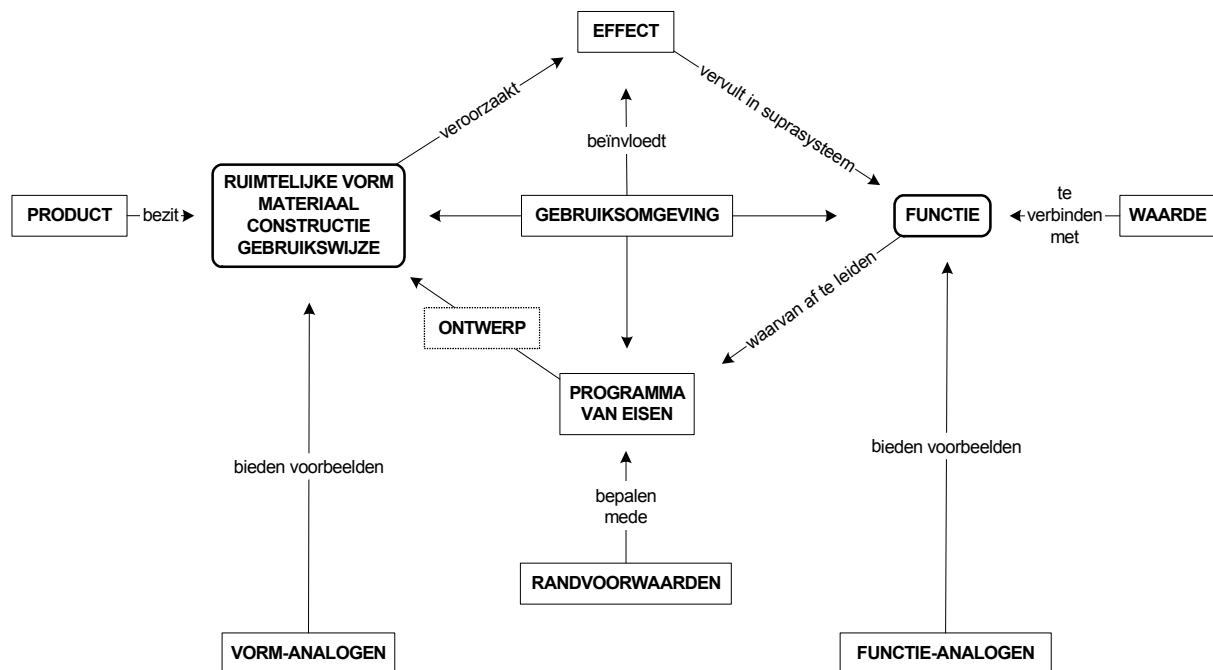
Figuur 2.3.7 Morfologische kaart van een aardappelrooimachine (naar Roozenburg & Eekels, 1991).

2.3.5 Het vormfunctieperspectief in technisch ontwerpen

Ontwerpen blijkt een cyclisch proces, waarbij stappen van functie naar vorm (analyse en synthese) en stappen van vorm naar functie (uittesten en evaluatie) elkaar afwisselen. Binnen deze cyclus wordt steeds heen en weer gesprongen. Het blijkt hierbij dat de weg van functie naar vorm veel vertakkingen heeft. Als centraal tussenstation tussen functie en ontwerp staat het programma van eisen. Dit blijkt maar voor een deel ingevuld te worden vanuit de functie, en voor een ander deel door diverse randvoorwaarden als prijs, technische mogelijkheden en het niet teveel mogen afwijken van het al bestaande ontwerp. Meestal bevatten ontwerpeisen tegenstrijdige zaken, waardoor het perfecte ontwerp nooit gehaald wordt. Elk ontwerp is een compromis, waarbij rekening wordt gehouden met de verenigbaarheid van functies (onder ander in

QFD) en de verenigbaarheid van deeloplossingen (onder andere in de morfologische kaart). Heuristieken die het ontwerpen ondersteunen blijken zowel te bestaan uit methoden om het blikveld te verbreden (associatieve methoden, gebruik van analogieën) als methoden om de beschikbare gegevens zo systematisch mogelijk in kaart te brengen (QFD, functie-analyse, morfologische kaart).

Op basis van de gegevens uit paragraaf 2.3.1 tot en met 2.3.4 is nu een model voor het vormfunctieperspectief in technisch ontwerpen op te stellen (Figuur 2.3.8). Hierbij is waar mogelijk dezelfde orientatie aangehouden als in het model dat is ontwikkeld voor het vormfunctieperspectief in biologisch onderzoek (Figuur 2.2.4). De bedoeling hiervan is om overeenkomsten en verschillen beter zichtbaar te maken.



Figuur 2.3.8 Het vormfunctieperspectief in technisch ontwerpen.

2.4 Naar een gemeenschappelijk model

2.4.1 Ontwerpen versus onderzoeken

Bij de vraag of de geformuleerde vorm-functieperspectieven in biologisch onderzoek en technisch ontwerpen in één gezamenlijk model zijn te combineren spelen niet alleen de verschillen tussen organismen en ontworpen producten een rol, maar ook de verschillen tussen ontwerpen en onderzoeken. Roozenburg & Eekels (1991) geven een overzicht van de verschillen tussen ontwerpen en empirisch wetenschappelijk onderzoek. In dit overzicht komt regelmatig de tegenstelling tussen ‘domein van de geest’ en ‘domein van de materiele werkelijkheid’ naar voren. Deze tegenstelling is te verbinden met de begrippen vorm en functie. De vorm is de materiële werkelijkheid, de functie datgene dat men daaraan verbonden denkt. Aansluitend daarop zou men in de verleiding komen om bij technisch ontwerpen te stellen dat de ontwerpactiviteit start in de geest en eindigt met het toevoegen van een product aan de materiële werkelijkheid, terwijl bij biologisch

onderzoek het proces start bij de materiele werkelijkheid en eindigt met het toevoegen van nieuwe kennis. Dit is wel waar wat betreft de eindproducten, maar gaat niet op voor de start. Zowel ontwerp- als onderzoeksactiviteiten kunnen starten met een idee of theorie, en kunnen evengoed starten met een verschijnsel of een bestaand ontwerp. De ontwerpcyclus en onderzoekscyclus blijken beide op elk punt in de cyclus te kunnen starten en sprongen heen en weer toe te laten. Wel is een verschil dat het bij technisch ontwerpen gaat om een *nieuw* te ontwikkelen vorm, terwijl in biologisch onderzoek de vorm al bestaat, maar nog ontdekt moet worden of met een functie moet worden verbonden.

Bij twee andere door Roozenburg en Eekels genoemde verschillen tussen onderzoeks- en ontwerpactiviteiten kunnen ook kanttekeningen worden gemaakt. Ten eerste de tegenstelling in redeneervorm. Roozenburg en Eekels plaatsen bij wetenschappelijk onderzoek de redeneervorm 'inductie' tegenover de redeneervorm 'ontwerpen' bij technisch ontwerpen. In paragraaf 2.2 is echter duidelijk geworden dat bij biologisch onderzoek het vormfunctieperspectief juist ook kan leiden tot de redeneervorm (her)ontwerpen, waarbij als belangrijk onderdeel van de heuristische het formuleren van structurele specificaties een rol speelt. Hierbij moet wel worden bedacht dat het vormfunctieperspectief één van de perspectieven is waarmee biologen naar hun onderzoeksobject kijken, en dat bij andere perspectieven andere redeneervormen kunnen gelden. Ten tweede, de tegenstelling in waarde-gestuurd bij technisch ontwerpen en waarde-vrij bij wetenschappelijk onderzoek. Deze tegenstelling klopt voor wat betreft de gewenste uitkomst: bij technisch ontwerpen wordt het product beoordeeld vanuit de waarden waar het aan moet voldoen. Bij biologisch onderzoek is het product de nieuwe kennis, en daarbij gelden niet tevoren gestelde waarden. Kijken we echter weer naar de heuristiek, dan zien we dat bij het gebruik van het vormfunctieperspectief in de biologie wel degelijk een waarde wordt gehanteerd waarmee verschijnselen en ideeën worden gemeten, namelijk de bijdrage aan de overlevingswaarde. Deze waarde bepaalt niet zozeer of de nieuwe kennis waar of niet waar is, maar wel of deze consistent is met het adaptationistische programma. Is dit laatste niet het geval, dan is er weer een nieuwe onderzoeksvraag gerezen.

Ook in de praktijk blijken de tegenstellingen niet zo scherp. Ontwerpers doen regelmatig onderzoek, bijvoorbeeld in de fase van het uittesten en bij het ontwikkelen van nieuwe materialen. Onderzoekers aan de andere kant zijn regelmatig bezig met probleemoplossen, bijvoorbeeld bij de ontwikkeling van nieuwe methodieken of bij het opzetten van een experiment. De biotechnologie is een voorbeeld van een vakgebied waarbinnen het onderscheid tussen ontwerpers en onderzoekers nauwelijks meer is te maken.

Samenvattend kan gesteld worden dat biologisch onderzoek vanuit het vormfunctieperspectief veel meer overeenkomsten vertoont met technisch ontwerpen dan overzichten zoals die van Roozenburg en Eekels suggereren. Dat blijkt ook bij de nadere vergelijking van de modellen van het vormfunctieperspectief in de volgende paragrafen.

2.4.2 Intentioneel versus niet-intentioneel

Hoewel de modellen van het vormfunctieperspectief in biologisch onderzoek en in technisch ontwerpen veel op elkaar lijken, is er natuurlijk ook een groot verschil. Ontwerpen is intentioneel handelen, en het ontstaan van een vorm door ontwerpen en

uittesten is een ander proces dan het ontstaan van een vorm door natuurlijke selectie. De vraag is of je alleen al door dat verschil niet zou moeten afzien van het maken van een gemeenschappelijk model. Mahner en Bunge vergelijken het functiebegrip in de biologie, in de sociale wetenschappen en in de techniek. In het biologisch onderzoek onderscheiden zij dezelfde verschillen in definities van het begrip ‘functie’ die Wouters heeft onderzocht en die vermeld staan in paragraaf 2.2.3 (Mahner & Bunge, 2001; Wouters, 1999). Voor de sociologie en techniek komen zij tot de conclusie dat ook daar meerdere definities van het begrip ‘functie’ bestaan, en dat die definities in eenzelfde relatie tot elkaar staan als de definities binnen de biologie. Hierbij trekken zij de vergelijking zelfs zover door dat zij ook bij sociale wetenschappen en techniek spreken over selectie en overleving van het ontwerp. Binnen de sociale wetenschappen en techniek maken zij echter nog een ander onderscheid: functies kunnen al of niet *beoogd* zijn. Een sociale activiteit zoals een ceremonie kan bijvoorbeeld een sociale functie hebben die bedoeld is door de deelnemers, maar die ook onbedoelde effecten kan hebben met soms minstens zo belangrijke functies, zoals sociale samenhang of het duidelijk maken van sociale status. Voor technische functies geldt dat de meeste functies door de ontwerper beoogd zijn, hoewel ook hier onbedoelde effecten kunnen optreden. Beoogde functies duiden Mahner & Bunge aan met de term *teleofuncties*. Biologische functies vallen daar niet onder. Is het combineren van van biologische functies en teleofuncties in één model dan wel mogelijk? In mijn visie wel, omdat de modellen van het vormfunctieperspectief niet de ontogenese van de vorm weergeven, maar de denkwijzen en heuristieken van de bioloog c.q. de technisch ontwerper. De denkwijze van de bioloog binnen het vormfunctieperspectief komt vaak neer op het beschouwen van een kenmerk *alsof* het was ontworpen door een agens die de functie voor ogen heeft (Rudwick, 1964). De vorm wordt als het ware ‘her-uitgevonden’. Biologen gebruiken de ontwerpmetafoor hierbij niet omdat zij denken dat er een ontwerper bestaat, maar omdat deze denkwijze een bewezen heuristische waarde heeft. In de modellen hoeft daarom geen onderscheid gemaakt te worden tussen beoogde en niet beoogde functies; zowel in biologisch onderzoek als in technisch ontwerpen gaat het in wezen om intentionele modellen.

2.4.3 Het gemeenschappelijk model

Als we de modellen en heuristieken die in biologisch onderzoek en technisch ontwerpen zijn beschreven met elkaar vergelijken, zien we grote overeenkomsten, zowel in de onderdelen van het model als in de onderlinge relaties. In paragraaf 2.3 is al beargumenteerd dat het gewenst is het gebruik van de termen vorm en functie zo te kiezen is dat deze voor beide werkerreinen opgaan. In beide modellen is verder sprake van een weg van vorm naar functie, die causaal van karakter is en waarin voorspellen en verklaren mogelijk is. Daarnaast bestaat in beide werkerreinen een weg van functie naar vorm, die in principe tot meerdere mogelijkheden leidt. Hierbij is geen sprake van een rechtstreekse voorspelling, maar van een afbakenen van de mogelijkheden op zoek naar de gewenste of gezochte vorm. Hetzelfde basale model als geformuleerd voor het vormfunctieperspectief in biologisch onderzoek (Figuur 2.2.3) lijkt dus ook van toepassing op technisch ontwerpen.

In ontwerpen is de weg van functie naar vorm de creatie van het ontwerp, terwijl bij het uittesten de weg van vorm naar functie wordt bewandeld. In biologisch onderzoek

Hoofdstuk 2 Vorm en functie in de biologie en in technisch ontwerpen

zagen we dat beide wegen bewandeld kunnen worden in onderzoek dat terug te brengen is tot een viertal vragen:

Type I	Waarvoor dient kenmerk X?
Type II	Hoe zorgt organisme A voor functie Y?
Type III	Hoe werkt kenmerk X?
Type IV	Waarom heeft kenmerk X vorm A en niet vorm A'?

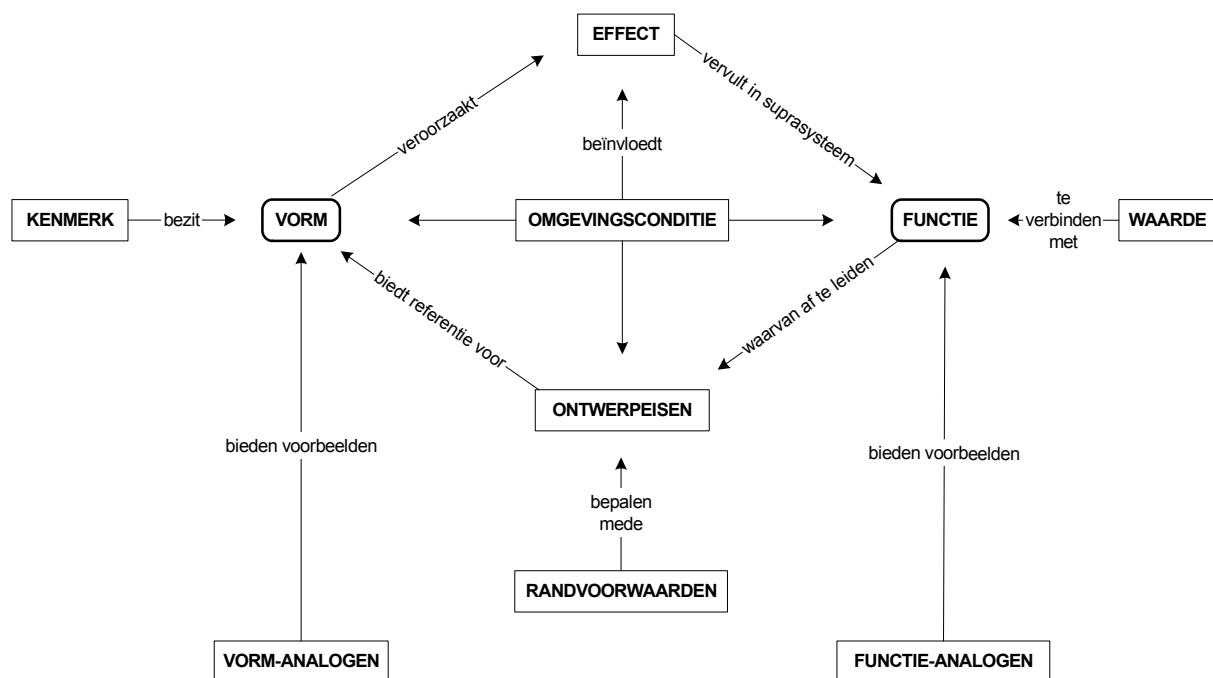
Om de vraagtypen zowel bij biologische als bij technische vragen te kunnen gebruiken, wordt Type II vanaf nu algemener geformuleerd als: 'Welke oplossing is er voor functie Y?'.

Hierbij moet worden opgemerkt dat het niet zo is dat bij vragen van type I alleen de weg van vorm naar functie aan de orde is en bij type II alleen de weg van functie naar vorm. In paragraaf 2.2.4 zagen we dat bij beide vragen sprake is van een 'heen en weer denken' tussen vorm en functie, zodat feitelijk beide wegen in beide richtingen worden bewandeld. De vraagtypen spelen bij technisch ontwerpen alle een rol bij het bestuderen van bestaande ontwerpen, vooral als gegevens ontbreken zoals bij archeologische vondsten. Vraag III speelt ook een rol in de fase van het uittesten. Hierbij staat de vraag 'Werkt ontwerp X?' centraal, als onderdeel van de ontwerpcyclus. Bij technisch ontwerpen speelt vooral vraag type II de hoofdrol, zij het eveneens in een andere gedaante. Bij technisch ontwerpen wordt bij een functie een *nieuwe oplossing* gezocht. Er wordt iets gemaakt wat er nog niet was. In biologisch onderzoek houdt vraag II in dat gezocht wordt naar de *al bestaande oplossing* voor een functie. Ook bij het ontwerp-proces zagen we dat sprake is van 'heen en weer-denken', waarbij wel stappen te onderscheiden zijn, maar waarbij in de cyclus analyse – synthese - evaluatie telkens sprongen heen en terug plaatsvinden. Alles overwegende lijkt er geen bezwaar om beide modellen te verenigen in het in Figuur 2.4.1 weergegeven model.

Bij de constructie van dit gemeenschappelijk model te komen zijn de volgende bewerkingen uitgevoerd.

1. Van de termen vorm en functie is in paragraaf 2.3 al beargumenteerd dat de gekozen definities voor beide werkterreinen kunnen gelden.
2. De termen 'condities' uit Figuur 2.2.4 en 'gebruiksomgeving' uit Figuur 2.3.8 zijn samengevat onder de term 'omgevingscondities'.
3. De termen 'structurele specificaties' uit Figuur 2.2.4 en 'programma van eisen' uit Figuur 2.3.8. zijn samengevat onder de term 'ontwerpeisen', waarbij 'ontwerp' voor biologische verschijnselen in de hierboven beschreven 'als-of' vorm wordt gebruikt.
4. De term 'waarde' uit Figuur 2.3.8 is van toepassing verklaard voor biologische verschijnselen, waarbij in dat geval voor waarde hier 'reproductiesucces' moet worden gelezen. Deze samentrekking is geoorloofd, omdat het in beide gevallen gaat om een vergelijkbare toetsing: het product/verschijnsel moet de selectie kunnen overleven, moet dus niet alleen goed zijn maar vooral *beter* dan het concurrerende product of de voorgaande vorm.
5. De randvoorwaarden uit Figuur 2.3.8 zijn ook van toepassing verklaard op biologische verschijnselen. Rudwick (1964) wees er al op dat bij de structurele specificaties niet alleen de functie een rol speelt, maar bijvoorbeeld ook de randvoorwaarde van het uitgangsmateriaal. Verder valt onder randvoorwaarden de algemene ontwerpeis te

- verstaan dat de vorm moet voldoen aan het zo laag mogelijk houden van de energiekosten en de risico's voor het organisme.
6. De eis van de optimale combinatie van deeloplossingen die binnen technisch ontwerpen geldt ook binnen de biologie bruikbaar als factor in de heuristiek. Elke oplossing kan zover worden doorgevoerd totdat het een probleem gaat vormen voor een andere te vervullen functie. Dat is de basis van het *compromis-karakter* van elke oplossing, of het nu gaat om een technisch ontwerp of om een biologische vorm. Met name geldt dat indien de eisen die aan een ontwerp gesteld worden tegenstrijdig zijn, zoals opvallend zijn voor rivalen, maar onopvallend voor predatoren.
 7. Gezien het gebruik van analoge vormen en functie in beide werkerterreinen is er geen probleem om analogieën op te nemen in het gemeenschappelijk model.

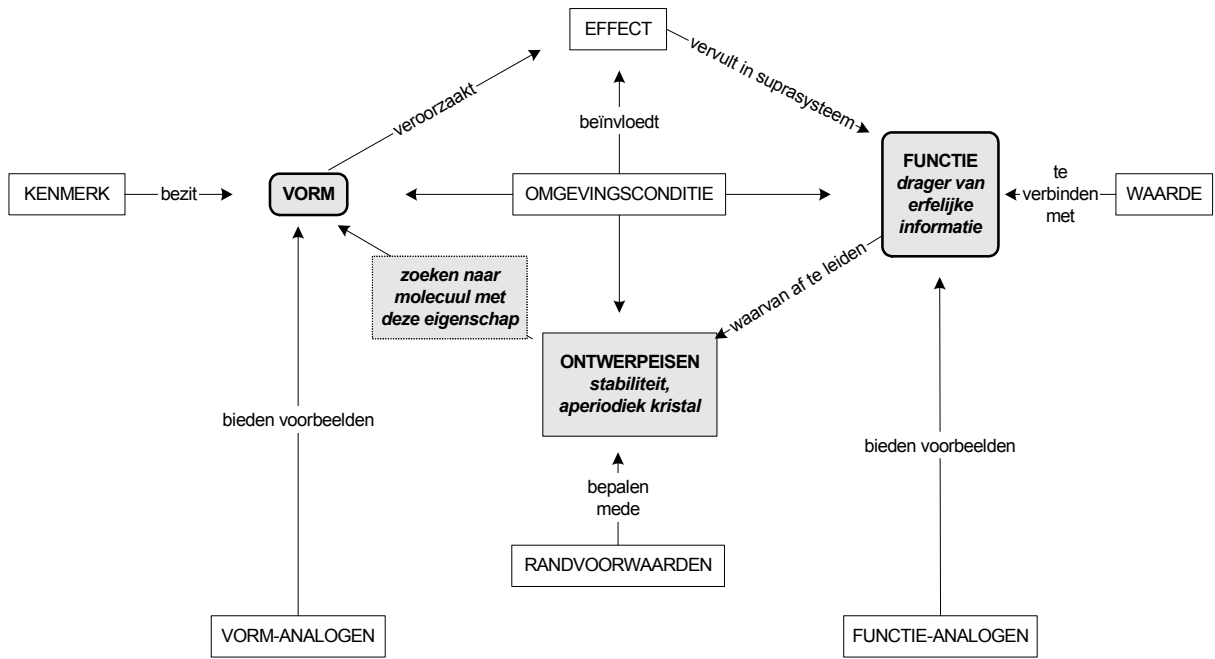


Figuur 2.4.1 Gemeenschappelijk model van het vormfunctieperspectief.

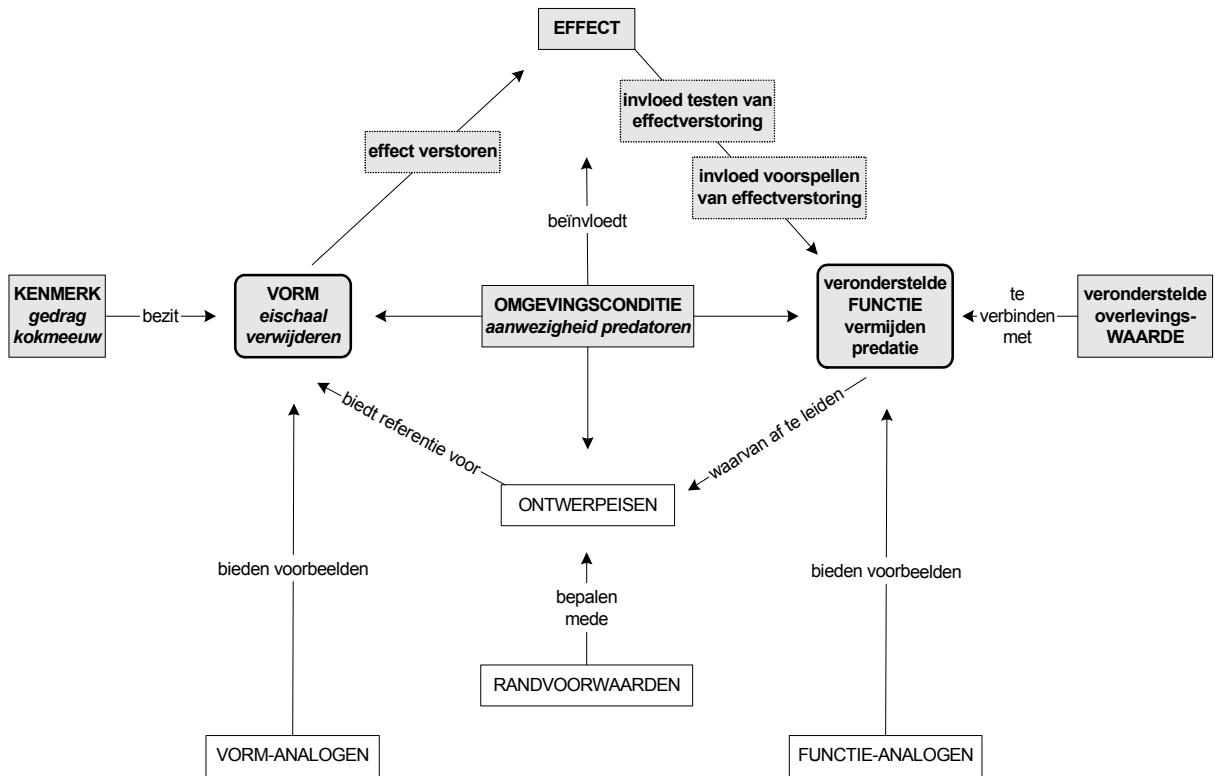
2.4.4 Heuristieken in het gemeenschappelijk model

De heuristieken die in paragraaf 2.2 en 2.3 zijn geformuleerd vormen de basis van het gemeenschappelijk model. In deze paragraaf worden enkele voorbeelden gegeven van hoe deze heuristieken binnen het gemeenschappelijk model zijn aan te geven. In de figuren hieronder zijn de onderdelen uit het model die betrokken zijn bij de heuristiek vetgedrukt, en de specifieke invullingen uit het gegeven voorbeeld cursief weergegeven. Als eerste wordt in Figuur 2.4.2 de heuristiek weergegeven die gehanteerd is in de werkwijze van Schroedinger. De 'Schroedinger-heuristiek' is een voorbeeld van een heuristiek bij vraag type II: 'Welke oplossing is er voor functie Y?'. Vanuit de functie worden ontwerpeisen afgeleid die helpen bij het zoeken van het betreffende kenmerk.

Hoofdstuk 2 *Vorm en functie in de biologie en in technisch ontwerpen*



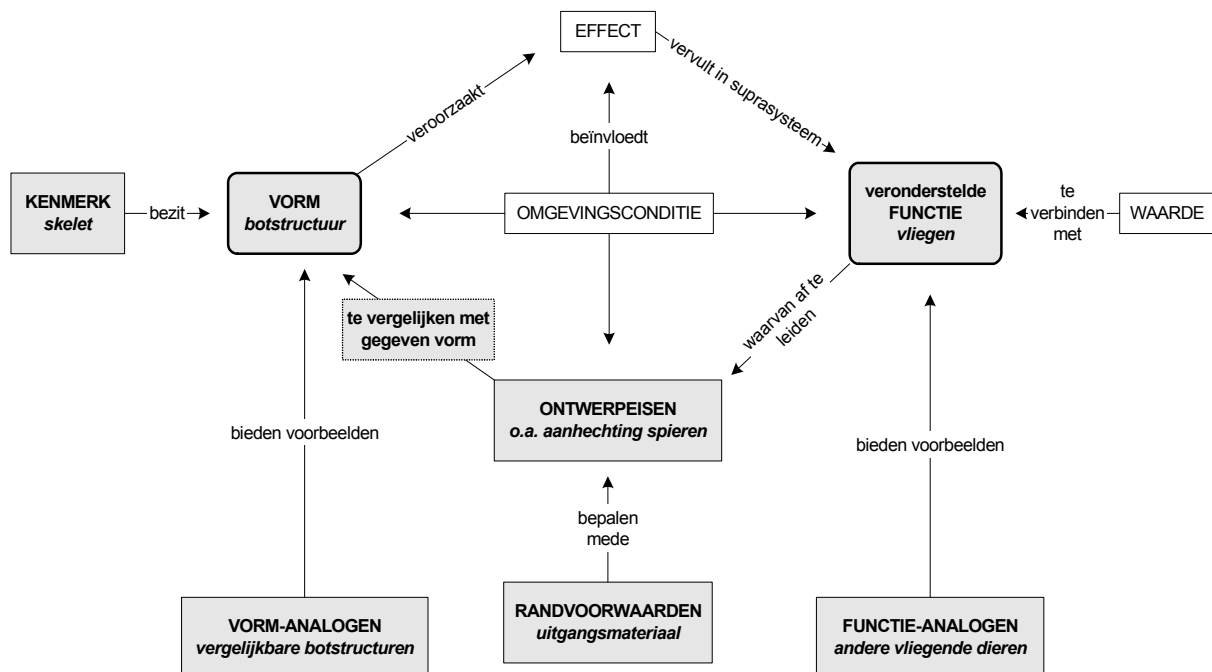
Figuur 2.4.2 De 'Schrödinger heuristiek' in het gemeenschappelijk model.



Figuur 2.4.3 De Tinbergen-heuristiek in het gemeenschappelijk model.

Het onderzoek van Tinbergen over de functie van het verwijderen van eierschalen betreft een vraag van type I: 'Waarvoor dient kenmerk X?'. De vorm is bekend, de functie onbekend. Ook hier start het onderzoek met een hypothese. Deze betreft hier niet de werking, maar de functie. De hypothese komt voort uit de vraag naar de overlevingswaarde van het gedrag in kwestie. Vanuit de veronderstelde functie wordt een werking voorspeld en getoetst door deze werking te verstoren (Figuur 2.4.3).

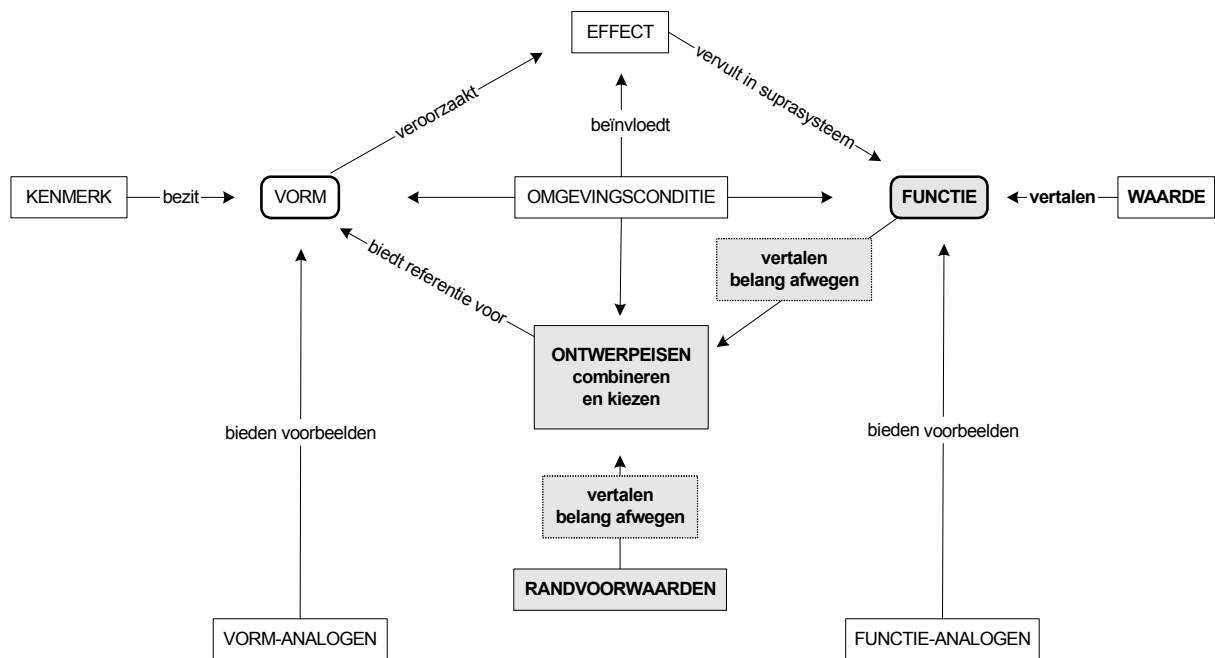
De aanpak van Rudwick betreft ook een vraag van type I: 'Waarvoor dient kenmerk X?'. Evenals bij Tinbergen wordt een hypothese over de functie geformuleerd. Daarna wijkt de heuristiek af van die van Tinbergen doordat niet 'bovenlangs' gewerkt wordt via het testen van een voorspelling, maar 'onderlangs' via het formuleren van ontwerpeisen waar het object mee vergeleken wordt. Figuur 2.4.4 geeft hier een beeld van.



Figuur 2.4.4 De 'Rudwick-heuristiek' in het gemeenschappelijk model.

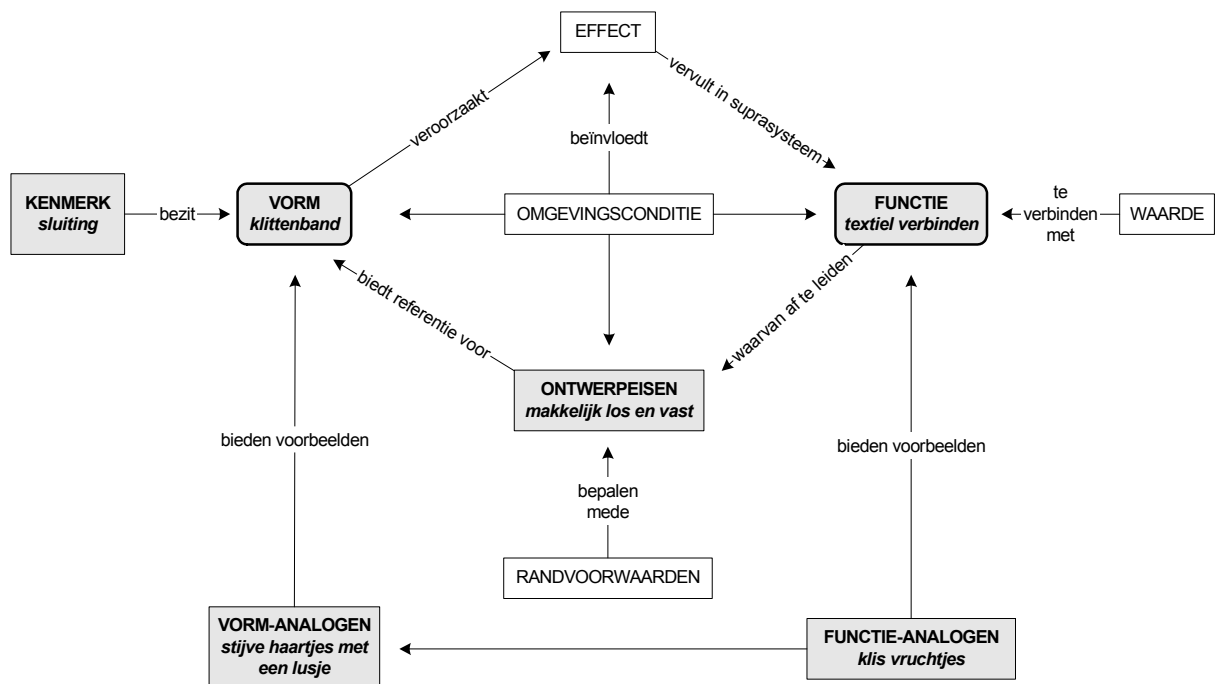
Van de ontwerpheuristieken wordt als eerste Quality Function Deployment geplaatst in het model, een heuristiek die specifieke ontwerpeisen als product heeft. Hierbij wordt o.a. de combineerbaarheid van de verschillende wensen en eisen uitgewerkt, bijvoorbeeld bij een autodeur de klantwens 'klikt gemakkelijk in het slot' en de technische eis 'nauw sluitend zonder vocht door te laten' (Figuur 2.4.5).

Hoofdstuk 2 Vorm en functie in de biologie en in technisch ontwerpen



Figuur 2.4.5 Quality Function Deployment in het gemeenschappelijk model.

Zowel in ontwerpen als in biologisch onderzoek worden vorm-analogieën en functie-analogieën als heuristieken gebruikt. Een object met een analoge functie kan worden gebruikt door de vorm die daarbij hoort te gebruiken als voorbeeld. Hieronder is dit in Figuur 2.4.6 uitgewerkt voor de ontwikkeling van klittenband, waarvoor de biologische analogie van de klisvruchtjes is gebruikt.



Figuur 2.4.6 Analogieën in het gemeenschappelijk model.

2.4.5 Overeenkomst in heuristieken

Het blijkt dat zowel de biologische als de technische heuristieken goed te plaatsen zijn in het gemeenschappelijk model van het vormfunctieperspectief. Verder blijkt dat ook de heuristieken zelf veel overeenkomsten vertonen. Wel is er verschil in de mate van explicitering van de heuristieken; bij technisch ontwerpen hebben heuristieken namen, omschrijvingen en zelfs handleidingen. Bij biologisch onderzoek zijn de heuristieken doorgaans niet als zodanig benoemd.

Aspecten waarin de heuristieken overeenkomen zijn:

1. Het hanteren van ontwerpeisen.

Ontwerpeisen vormen een centraal onderdeel van de ontwerpcyclus. In biologisch onderzoek zien we ontwerpeisen terug in de aanpak van Rudwick en Schroedinger. Bij Rudwick gaat het om een vraag van type I ('Waarvoor dient kenmerk X?'), bij Schroedinger om een vraag van type II ('Welke oplossing is er voor functie Y?') In alle gevallen dienen de ontwerpeisen zowel om het zoekproces te sturen als om ontwerpen mee te vergelijken.

2. Het hanteren van analogieën

Zowel vorm-analogieën als functie-analogieën worden in technisch ontwerpen en in biologisch onderzoek gehanteerd. Daarbij fungeren tevens vaak biologische analogieën in de techniek, en technische analogieën in de biologie.

3. Experimentele toetsing

In biologisch onderzoek betreft het hier het testen van voorspellingen over de vorm, de werking of de functie. In technisch ontwerpen betreft dit het uittesten van simulatiemodellen. Het gaat in alle gevallen om de weg van vorm via effect naar functie, en in biologisch onderzoek vaak om een vraag van type III 'Hoe werkt kenmerk X?'

4. Het compromiskarakter naast de optimaliteitseis

Bij het technisch ontwerpproces bevatten ontwerpeisen meestal tegenstrijdige zaken, waardoor het perfecte ontwerp nooit gehaald wordt. In diverse heuristieken wordt de combineerbaarheid van ontwerpeisen of van deeloplossingen onderzocht. De ontwerpeisen komen niet alleen uit de gevraagde functie voort, maar ook uit randvoorwaarden zoals prijs en productiemogelijkheden. In het ontwerpproces wordt hierbij naar het optimale compromis gezocht.

Bij biologisch onderzoek dat uitgaat van de veronderstelling dat biologische organismen optimaal zijn ontworpen wordt er eveneens vanuit gegaan dat het perfecte ontwerp niet bestaat, maar dat wel te berekenen is hoe het optimale compromis er uit zou moeten zien. Ook hierbij gaat het om het combineren van eisen (bijvoorbeeld maximale energieopname tegen minimale energiekosten) en om het verschijnsel dat een verbetering van één functie vaak een nadeel betekent voor een andere functie (bijvoorbeeld: een steviger structuur leidt vaak tot een groter gewicht, hogere energiekosten, etc.)

Een aspect dat in het model niet expliciet naar voren komt, is de historische relatie. Zowel organismen als technische ontwerpen veranderen. Daardoor wordt in beide gevallen de nieuwe vorm niet alleen door de functie bepaald, maar voor een groot deel door de voorafgaande vorm en het geheel waar de vorm deel van uitmaakt. In hoofdstuk 3 werd aangegeven dat in bepaalde gevallen een vorm A geselecteerd kan zijn voor functie X, maar in tweede instantie een rol kan krijgen in functie Y (bijvoorbeeld de vogelveren die waarschijnlijk in eerste instantie een isolatiefunctie hadden en in tweede instantie een

functie bij het vliegen kregen). Om te verklaren waarom bij vliegende vogels een andere weg is ingeslagen dan bij vliegende reptielen of zoogdieren is dus de historische relatie onmisbaar. Ook bij ontwerpen blijkt vaak een historische relatie de vorm mede te verklaren. Als voorbeeld werd in paragraaf 2.3 de vork aangeduid, die eerst alleen een 'vastpin-functie' had, en later ook de functie kreeg om het eten naar de mond te brengen. Zonder deze historische relatie zouden we misschien helemaal geen vorken in ons bestek hebben, omdat lepels ook heel geschikt zijn om eten naar de mond te brengen. Ontwerpen vanuit het niets komt noch in de evolutie, noch in technisch ontwerpen voor. Hoewel de historische relatie dus niet als zodanig in het model staat, is ze daarin wel te plaatsen onder het aspect randvoorwaarden. Als randvoorwaarden bij een nieuw te ontwikkelen vorm, zowel in de evolutie als bij het verbeteren van een technisch ontwerp, gelden dan bijvoorbeeld de randvoorwaarde van het uitgangsmateriaal (zoals al genoemd door Rudwick) en de hierboven onder punt 4 genoemde eis van combineerbaarheid met de andere onderdelen van het ontwerp.

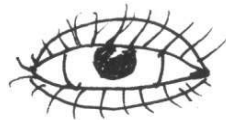
2.4.6 Conclusie

Het gemeenschappelijk model van het vormfunctieperspectief, zoals weergegeven in Figuur 2.4.1, geeft een goed beeld van de relaties die er zijn tussen de elementen van het vorm-functiespectief, en is geschikt om de heuristieken van zowel biologisch onderzoek als technisch ontwerpen in onder te brengen. De overeenkomsten tussen het vormfunctieperspectief in biologisch onderzoek en in technisch ontwerpen blijken groot genoeg om bij het ontwikkelen van een metacognitief instrument voor natuuronderwijs uit te gaan van een gemeenschappelijk model.

Hoofdstuk 3

Het verwerven van perspectieven

- 3.1. Inleiding
- 3.2. Het vormfunctieperspectief als vakdidactisch begrip
- 3.3. Het vormfunctieperspectief als metacognitieve strategie
- 3.4. Leren en onderwijzen van het vormfunctieperspectief
- 3.5. Criteria voor een onderwijsleerstrategie



3.1 Inleiding

In hoofdstuk 2 is duidelijk geworden wat het vormfunctieperspectief inhoudt in biologisch onderzoek en in technisch ontwerpen. In dit hoofdstuk wordt onderzocht op welke wijze het vormfunctieperspectief het beste verworven kan worden. Eerst worden in paragraaf 3.2 en 3.3 voorbeelden van perspectieven uit de onderwijskundige en vakdidactische literatuur besproken. Paragraaf 3.4 geeft een overzicht van welke richtlijnen voor een adequate onderwijsleerstrategie af te leiden zijn van de huidige visies op leren en onderwijzen. In paragraaf 3.5 worden deze richtlijnen opnieuw geordend en samengevat.

3.2 Het vormfunctieperspectief als vakdidactisch begrip

In hoofdstuk 1 zijn de kenmerken van perspectieven aan bod gekomen. Deze zijn als volgt samen te vatten:

- Perspectieven zijn te beschouwen als de wijze waarop de vak-expert een verschijnsel beschrijft en onderzoekt. De vak-expert heeft hierbij keuze uit meerdere perspectieven, die elkaar niet uitsluiten maar aanvullen. Elk perspectief levert andere vragen op die aan de verschijnselen zijn te stellen.
- Perspectieven bevatten zelf ook theorie.
- Perspectieven bevatten heuristieken. Hieronder worden zowel suggesties voor onderzoeksvragen verstaan als strategieën om aan antwoorden te komen.
- Perspectieven toegepast binnen het onderwijs geven structuur aan het leren door de leerling bewust te maken van welke soort vraag er aan de orde is. Hierdoor kunnen dezelfde typen vragen bij verschillende objecten herkend worden.
- Perspectieven zijn te beschouwen als domeinspecifieke metacognitie en kunnen in die betekenis zelf ook als leerdoelen worden geformuleerd

De oorsprong van het denken in perspectieven binnen de biologiedidactiek ligt voor een belangrijk deel in het BSCS-project. Een belangrijk onderdeel van dit project vormen de sleutelbegrippen die daarin zijn geformuleerd. In het BSCS-project zijn twee reeksen sleutelbegrippen ontwikkeld, de 'Unifying Themes' en de 'Principles of Enquiry' (Schwab, 1963). De 'Unifying Themes' bestaan uit sleutelbegrippen in de biologie zoals evolutie, eenheid en verscheidenheid, organisme en milieu, en regulatie en homeostase. De bedoeling is om via deze sleutelbegrippen het onderwijs zodanig in te richten dat de inzichten die ontstaan door het bestuderen van specifieke verschijnselen gebundeld kunnen worden tot inzichten van een grotere algemene geldigheid. De samenhang in de veelheid van verschijnselen zou daardoor groter worden en de kennis flexibeler¹. De 'Principles of Enquiry' bevatten eveneens sleutelbegrippen, maar deze hebben een functie als richtlijnen voor onderzoek. Enerzijds zijn dit algemene richtlijnen uit de natuurwetenschappelijke onderzoeksmethodiek, zoals interpretatie van gegevens en hypothesevorming, anderzijds komen er meer domeinspecifieke

¹ Een andere poging om het leerplan voor het vak biologie te baseren op centrale concepten is gedaan door Schaefer met diens 'Lebensprinzipien' (Schaefer, 1990). Hierbij wordt uitgegaan van paarsgewijze tegenstellingen zoals verandering/continuïteit en zelfstandigheid/afhankelijkheid.

richtlijnen voort uit vijf zogenaamde ‘Guiding principles of enquiry’. Voorbeelden van deze ‘guiding principles’ zijn oorzaak en gevolg, zelfregulatie, en structuur en functie. Deze ‘guiding principles’ geven aan welke vragen gesteld kunnen worden en tevens hoe deze vragen aangepakt moeten worden². Schwab (1963) spreekt in verband hiermee ook van ‘modes of enquiry’. Uit het bovenstaande volgt dat de betekenis van de term perspectieven in dit onderzoek meer gemeen heeft met de ‘principles of enquiry’ dan met de ‘unifying themes’, hoewel het soms moeilijk is een helder onderscheid tussen deze twee begrippen te maken. De functie van de ‘Unifying themes’ is met name het structureren van en samenhang brengen in kennis, de functie van de ‘Principles of enquiry’ betreft vooral het genereren van nieuwe kennis. Opvallend is overigens dat ‘structure and function’ door Schwab (1963) zowel tot de unifying themes als tot de principles of enquiry wordt gerekend (zie Figuur 1.4). Ook Schwab lijkt dus van mening te zijn dat ‘vorm en functie’ zowel een grote hoeveelheid theorie kan structureren, als een hulpmiddel is voor het verwerven van nieuwe kennis, met andere woorden dat er sprake is van een domeinspecifieke metacognitieve strategie.

Het begrip perspectief wordt in een didactische context ook gehanteerd door Janssen en Jacobs-Scheper (Janssen, 2000; Jacobs-Scheper, 2001; Janssen en Jacobs-Scheper, 2001). Zij geven aan dat bij kennisverwerving zowel persoonlijke, als maatschappijgerichte en vakgerichte perspectieven een rol spelen. Het gaat hierbij niet alleen om curriculumdeterminanten die leerplanontwikkelaars en methodenschrijvers hanteren, maar om perspectieven die expliciet gehanteerd kunnen worden door de leerkracht, en in bepaalde gevallen ook door de leerling zelf. De vakgerichte perspectieven komen grotendeels overeen met de perspectieven die door mij in de inleiding zijn voorgesteld (zie Figuur 1.4), te weten een vergelijkend, mechanistisch, functioneel, ontogenetisch en evolutionair perspectief (Janssen, 2000). Ook Janssen en Jacobs-Scheper pleiten voor een expliciete aandacht voor de verschillende perspectieven in het onderwijs. Daarbij onderscheidt Janssen vier gebruiksniveaus, waarbij de leerlingen op de hoogste niveaus ook zelf leren welke vragen vanuit een bepaald perspectief gesteld kunnen worden. De nadruk ligt echter op het gebruik van perspectieven door de docent, en het gericht aanleren van een perspectief zoals voorgesteld in dit proefschrift komt bij hen nog niet aan de orde.

Of met deze perspectieven ook gesproken kan worden van ‘biologisch denken’ is inzet van een recente discussie in de didactiek van de biologie (Boersma & Kamp, 2001; De Hullu, 2002; Kamp, 2002). In deze discussie wordt naar voren gebracht dat deze denkwijzen niet exclusief tot de biologie behoren, wat ook verderop in deze paragraaf aan de orde komt. Daarmee wordt in feite de discussie een taalkundige kwestie, namelijk of je een specifieke combinatie van denkwijzen die elk op zich ook in andere disciplines worden gehanteerd, ‘biologisch denken’ mag noemen.

Aandacht voor perspectieven is overigens niet beperkt tot biologie of natuuronderwijs. In de Basisdoelen NME (SLO, 1995) wordt gesproken over het ‘opzetten van een ‘NME-bril’ bij de behandeling van onderwerpen als voedsel of materialen. Eén van deze brillen is bijvoorbeeld “zuinig zijn op spullen, want alles om ons heen is afkomstig uit de natuur”. De

² Damen (1985) gebruikt voor dergelijke uitgangspunten de term relatie, zoals de causale relatie en de functionele relatie, die beide tot de verklarende relaties behoren. Ook voor Damen representeren deze relaties de wijze van vragen stellen binnen de biologie.

Hoofdstuk 3 Het verwerven van perspectieven

overeenkomst met de voorgestelde perspectieven is dat met elke 'NME-bril' ook op een specifieke manier naar de werkelijkheid wordt gekeken. Als je naar een stoel kijkt vanuit deze NME-bril, zul je andere dingen opmerken dan als je ernaar kijkt vanuit een vormfunctieperspectief. Een tweede overeenkomst is dat de NME-bril een inhoudelijke kant heeft ('alles is afkomstig uit de natuur') en tevens richting geeft aan het handelen ('zuinig zijn op spullen'). Een verschil is dan dat het bij de NME-bril gaat om de sturing van het eigen gedrag ('zuinig omgaan') en bij de perspectieven in dit proefschrift om heuristieken; aanwijzingen hoe door verder onderzoek meer kennis te verwerven is.

In het geschiedenisonderwijs in het voortgezet onderwijs fungeren zogenoemde structuurbegrippen, die expliciet zijn opgenomen in de exameneisen en geschiedenismethoden. Het gaat hier om begrippen als bron en vraagstelling, feit en objectiviteit, oorzaken en gevolgen, verandering en continuïteit (Regeling examenprogramma geschiedenis en staatsinrichting, 1995). Deze structuurbegrippen zijn niet gebonden aan een bepaalde inhoud, maar zijn kenmerkend voor het beoefenen van het vak geschiedenis. Het is de bedoeling dat leerlingen deze structuurbegrippen leren toepassen op diverse historische onderwerpen (Dalhuizen e.a., 1998). Structuurbegrippen vertonen dus veel overeenkomsten met perspectieven en hebben zelfs deels (oorzaak en gevolg) dezelfde titel.

In de ontwikkeling van sociale wereldoriëntatie heeft multiperspectiviteit of meerperspectiviteit steeds een belangrijke rol gespeeld. Een voorbeeld hiervan is de structurering die de Projectgroep Sociale Wereldoriëntatie (1984) heeft voorgesteld, waarbij zeven themavelden zijn onderscheiden. Deze themavelden zijn te beschouwen als perspectieven die elkaar aanvullen. Multiperspectiviteit houdt dan in dat bij bestudering van een bepaald verschijnsel als huwelijk of werkloosheid, meerdere van deze themavelden aan bod komen. De overeenkomst tussen de themavelden en de perspectieven in dit proefschrift is dat het ook bij de themavelden gaat om een invalshoek die te beschrijven is als een bepaalde vraag die aan het te bestuderen verschijnsel wordt gesteld. Deze vragen zijn in eenvoudige vorm dezelfde als de vragen waarmee sociale wetenschappers de werkelijkheid benaderen³. Samenvattend kan worden vastgesteld dat perspectieven in de zin waarin ze in dit proefschrift worden gehanteerd, geen onbekend verschijnsel zijn in de vakdidactiek.

3.3 Het vormfunctieperspectief als metacognitieve strategie

In hoofdstuk 1 is het vormfunctieperspectief beschreven als een domeinspecifieke metacognitieve strategie. In deze paragraaf wordt dit nader toegelicht. Cognitieve strategieën

³ Een heel andere benadering van perspectieven in wereldoriëntatie is te vinden in het zogeheten meerperspectivisch onderwijs (Roegholt, 1995). Hierbij gaat het echter niet om perspectieven als voorgeschreven invalshoeken die de leerling kan leren hanteren. Meerperspectiviteit duidt hier op het uitgangspunt dat kennis geconstrueerd is door individuen in een bepaalde context. Gevolg hiervan is dat er dus geen objectief vast te stellen werkelijkheid is, alleen een veelheid van perspectieven daarop die onderling strijdig kunnen zijn. In dit proefschrift wordt meerperspectiviteit niet in deze laatste zin gebruikt. De perspectieven in dit onderzoek zijn geen individuele of groeps-perspectieven, maar min of meer officiële invalshoeken van een discipline die onderling niet strijdig zijn, maar elkaar aanvullen.

zijn combinaties van technieken die een leerling kan inzetten bij het leren of bij het oplossen van een probleem (Boekaerts & Simons, 1995). Deze strategieën kunnen al of niet expliciet in het onderwijs zijn aangeleerd. Voorbeelden van strategieën bij het leren van een tekst zijn het onderstrepen van belangrijke woorden in een tekst en het jezelf vragen stellen over een probleem. Bij een metacognitieve strategie gaat het om technieken die een leerling bewust hanteert om haar/zijn leerproces te sturen. Een voorbeeld van een metacognitieve strategie is de techniek van concept-mapping, waarbij de leerling nagaat wat de belangrijke begrippen zijn, deze ordent van meest naar minder belangrijk, en de relaties tussen deze begrippen aangeeft in een bepaald schema (Novak & Gowin, 1985). Indien metacognitieve strategieën worden gehanteerd bij het oplossen van problemen spreken we doorgaans van heuristieken.

In hoofdstuk 2 hebben we gezien dat het vormfunctieperspectief veel heuristieken omvat, zoals het gebruik van analogieën bij het zoeken naar een vorm of een functie. Het vormfunctieperspectief is als het ware te beschouwen als een 'superheuristiek'.

Ten eerste geeft het perspectief aan welke vragen te stellen zijn, bijvoorbeeld de vraag "waar dient dit voor"; ten tweede biedt het vormfunctieperspectief heuristieken om deze vraag op te lossen bijvoorbeeld de vraag wat het gevolg voor het suprasysteem zou zijn als dit kenmerk er niet zou zijn. In hoofdstuk 2 zagen we tevens dat het vormfunctieperspectief door technisch ontwerpers bewuster en explicieter gehanteerd wordt dan door biologen. In de visie op natuuronderwijs die in dit proefschrift wordt uitgewerkt, is het de bedoeling dat leerlingen het vormfunctieperspectief bewust gaan hanteren. In het kader van dit onderzoek is het vormfunctieperspectief dus inderdaad te beschouwen als een metacognitieve strategie.

Perkins (1997) en Collins & Ferguson (1993) hebben metacognitieve strategieën geanalyseerd die mensen gebruiken om via onderzoek tot nieuwe informatie te komen. Zij hebben deze strategieën ingedeeld in overeenkomstige patronen die zij aanduiden als 'epistemic games'. Collins & Ferguson maken hierbij een onderscheid in drie typen 'spelregels', namelijk die voor structurele analyse (zoals anatomie, kartografie etc.), functionele analyse (waaronder oorzaak-gevolg en vorm-functie onderzoeken) en proces analyse (waaronder systeemdynamische modellen). De epistemic games zijn in veel opzichten te beschouwen als perspectieven. Het zijn onderzoeksstrategieën die in meerdere disciplines worden gehanteerd, en ze vergemakkelijken het vinden van een antwoord door het zoeken door middel van bepaalde spelregels te beperken. Deze strategieën zijn in basale vorm al toepasbaar door kinderen, maar de spelregels kunnen steeds worden uitgebreid, waardoor ook meer complexe kennis kan worden verworven. Een verschil tussen epistemic games en perspectieven is dat epistemic games niet beschreven worden als invalshoeken waarmee naar verschijnselen gekeken kan worden. Het gaat bij epistemic games vooral om het vinden van antwoorden en niet om het genereren van vragen. Perspectieven hebben beide aspecten in zich, zowel het oproepen van vragen als het bieden van strategieën om aan een antwoord te komen.

3.4 Leren en onderwijzen van het vormfunctieperspectief

In hoofdstuk 1 is al ter sprake gekomen dat het project Natuuronderwijs voor de Basisschool gebaseerd is op ontdekkend leren als methode van kennisverwerving, waarbij van een empiristische opvatting is uitgegaan, namelijk dat er sprake is van een werkelijkheid die

Hoofdstuk 3 Het verwerven van perspectieven

door onderzoek kan worden ontsloten. Deze epistemologische opvatting is in strijd met de thans overheersende constructivistische opvattingen over leren en onderwijzen. Binnen deze visie wordt kennis niet beschouwd als in de werkelijkheid zelf gelegen, maar als een menselijke constructie die sterk bepaald wordt door de opvattingen over de werkelijkheid die men al heeft. In dit proefschrift wordt uitgegaan van een visie op leren en onderwijzen die deels gebaseerd is op het sociaal-constructivisme, en deels op de cultuurhistorische benadering. De probleemstelling waar dit onderzoek mee begint, stelt de vraag hoe leerlingen geholpen kunnen worden bij het structureren van hun leerervaringen, zonder dat daarmee hun eigen vragen en eigen verkenning in het gedrang komen. Dit spanningsveld tussen de eigen constructie van kennis door de leerling, en de aanreiking van beproefde instrumenten zoals perspectieven vereist een speciale rol van de docent. Deze moet 'tweesporig functioneren', namelijk enerzijds onderzoeken welke denkbeelden de leerling heeft en ontwikkelt, en anderzijds in het oog houden welke begrippen verworven moeten worden en hoe deze zich verhouden tot de denkbeelden van de leerling (Van Parreren, 1988). Het sociaal constructivisme en de cultuurhistorische benadering besteden beide aandacht aan deze rol van de docent, en aan het spanningsveld tussen eigen activiteit van de leerling en sturing door de leerkracht. In beide visies is de constructie van begrippen geen individueel proces, maar vindt plaats in een dialoog tussen leerling, medeleerlingen en leerkracht. De cultuurhistorische benadering gaat daarbij verder dan het sociaal-constructivisme door erop te wijzen dat de wijze waarop leerlingen construeren zelf ook ontwikkelt en in belangrijke mate cultuurhistorisch wordt bepaald (Van Oers, 1995). De leerkracht moet dus niet alleen zinvolle activiteiten organiseren en met leerlingen in discussie gaan, maar ook de leerling leren construeren. In mijn visie zijn perspectieven zoals het vormfunctieperspectief een voorbeeld van het expliciet leren construeren.

Hieronder zal worden uitgewerkt welke nadere keuzen worden gedaan ten opzichte van opvattingen over leren en onderwijzen die gebaseerd zijn op een constructivistische c.q. cultuurhistorische visie.

Conceptual change

Voorafgaand aan het onderwijs beschikt de leerling vaak al ten dele over begrippen ten aanzien van het te bestuderen onderwerp. Soms zijn deze begrippen sterk afwijkend van de begrippen die nieuw aangeleerd moeten worden, wat inhoudt dat er in het onderwijs sprake moet zijn van een bewuste omslag in het denken van de leerling over deze begrippen, een conceptual change (Posner & Strike, 1982; Vosniadou, 1997). Hierbij zijn er vaak parallelen tussen de historische ontwikkeling in de natuurwetenschap en de ontwikkeling van begrippen in het onderwijs (Duschl e.a., 1992). In de didactiek van de natuurwetenschappen heeft deze benadering geleid tot onderwijs dat gericht is op het omvormen van bestaande leerlingdenkbeelden tot de meer wetenschappelijke denkbeelden. Belangrijke stappen in deze didactiek zijn de 'elicitation of ideas' waarin de leerling gestimuleerd wordt de eigen ideeën onder woorden te brengen, en de 'restructuring of ideas' waarin leerlingen via uitwisseling van ideeën en de confrontatie met situaties die niet passen in de denkbeelden van de leerling uitgenodigd wordt nieuwe, breder toepasbare theorieën te ontwikkelen. Vervolgens moeten deze nieuwe ideeën weer worden getest in een andere context (Driver, 1988). Naast 'radical restructuring' waarbij leerlingen bestaande denkbeelden moet vervangen door andere, wordt

‘weak restructuring’ onderscheiden, waarbij de gewenste begrippen ontstaan door geleidelijke opbouw (Vosniadou & Brewer, 1987). Deze laatste versie van conceptual change past, zowel gezien de historische ontwikkeling in de natuurwetenschap als wat betreft de ontwikkeling van begrippen in het onderwijs, beter bij biologische begrippen. Met name binnen de natuurkunde is er sprake geweest van sprongsgewijze ontwikkelingen waarbij de theorie vaak in tegenspraak lijkt met de dagelijkse ervaringen. Hetzelfde wordt gevonden bij het verwerven van natuurkundige begrippen in het onderwijs. Mayr (1997) geeft aan dat in de biologie daarentegen veeleer sprake is geweest van geleidelijke ontwikkelingen. Ook beschrijvingen van de ontwikkeling van denkbeelden bij kinderen geven aan dat bij biologische onderwerpen begrippen gradueel een meer gedifferentieerde invulling krijgen, zoals het begrip dier (Carey, 1985). Voor het vormfunctieperspectief is evenmin te verwachten dat hier een revolutionaire verandering in leerlingdenkbeelden moet plaatsvinden, doordat de basisopvatting dat vorm en functie met elkaar te maken hebben voor kinderen ondersteund wordt door dagelijkse ervaringen. Wel is het uitgangspunt dat het onderwijs moet vertrekken vanuit de bestaande denkbeelden van de leerlingen van kracht, juist omdat alle kinderen al vroeg ervaringen opdoen met de relatie tussen vorm en functie. Dat betekent dat de bovengenoemde didactiek waarin die denkbeelden geëxpliciteerd worden een inspiratiebron is voor de te ontwikkelen onderwijsleerstrategie. Deze didactiek geeft aan dat er in het onderwijs sprake moet zijn van een dialoog. De leerling wordt uitgenodigd zijn/haar ideeën te verwoorden, en er vindt uitwisseling en verheldering plaats.

Probleemstellend onderwijs en ontwerpnd leren

Een alternatief voor de conceptual change aanpak is die van het probleemstellend leren (Klaassen, 1995; Vollebregt, 1998; Knippels, 2002). In deze benadering wordt de ontwikkeling van het gewenste begrip in stappen opgebouwd, waarbij de stappen bestaan uit problemen en bijbehorende leeractiviteiten. In plaats van de bestaande denkbeelden te laten expliciteren wordt de leerling via een reeks activiteiten in een situatie gebracht waarbij zich vragen voordoen die de leerling zonder uitbreiding van kennis niet kan oplossen. De bedoeling hiervan is dat de leerling de noodzaak van kennisuitbreiding ervaart, en tevens dat de uitbreiding van kennis ervoor zorgt dat de leerling het betreffende probleem kan oplossen. Vervolgens wordt de leerling met een volgend probleem geconfronteerd, net zolang tot via dit proces van geleide herontdekking de leerling het begrip heeft gereconstrueerd.

Welk begrip de leerling uiteindelijk vormt staat dus tevoren vast. Ook de vragen waar het onderwijsleerproces mee begint zijn niet door de leerling geformuleerd. Het ontdekkende aspect van geleide herontdekking zit vooral in het door de leerling zelf formuleren en bespreken van mogelijke antwoorden op deze vragen.

Door Janssen (1999) is een domeinspecifieke aanpassing van deze aanpak uitgewerkt in de vorm van ontwerpnd leren. Het probleem waar hiermee begonnen wordt is de vervulling van een biologische functie, in dit geval de afweer tegen ziekteverwekkers. De leerling wordt uitgenodigd hiervoor oplossingen te ontwerpen, en tevens om de nadelen van deze oplossingen te formuleren. Na keuze van de beste oplossing fungeert het nadeel van deze oplossing weer als volgend probleem. Het eindresultaat is dat de leerling het immuunsysteem opnieuw heeft ontworpen en tevens kan verklaren waarom dit zo werkt en niet anders. Het is duidelijk dat in deze aanpak het vormfunctieperspectief van toepassing is, en dat hier een

Hoofdstuk 3 Het verwerven van perspectieven

heuristisch is aangegeven die past in het 'heen en weer denken' van het vormfunctieperspectief.

Hoewel deze heuristisch logischerwijs een rol zal spelen in de uitwerking van de onderwijsleerstrategie, is in dit onderzoek niet gekozen voor de aanpak van probleemstellend leren. De reden daarvoor is dat dit onderzoek een verkennend karakter heeft, en dat nog niet op voorhand gezegd kan worden met welke denkstappen de leerlingen al of niet moeite zullen hebben.

De cultuurhistorische benadering

De gedachte dat bij het verwerven van het vormfunctieperspectief een dialoog tussen leerkracht en leerling noodzakelijk is, volgt ook uit de cultuurhistorische benadering die gebaseerd is op de leertheorie van Vygotsky (Van Oers, 1987, 1995). In deze benadering is essentieel dat leerlingen zelf de beschikking krijgen over de instrumenten voor kennisconstructie die in de cultuur gebruikt worden. Alleen dan kan er zinvol sprake zijn van gezamenlijke kennisconstructie, een 'negotiation of meaning' en kan de leerling zich de cultuur eigen maken. Leerlingen moeten dus niet in het wilde weg gestimuleerd worden begrippen te construeren, maar moeten bewust leren op welke wijze volwassenen en professionals dit aanpakken. Dit is van belang voor het verwerven van het vormfunctieperspectief, dat immers een specifieke professionele aanpak inhoudt. Volgens Vygotsky vindt cultuuroverdracht idealiter plaats via deelname van kinderen aan sociaal-culturele praktijken. In het kader van deze praktijken (zoals bijvoorbeeld ontwerpen) leren kinderen eigen betekenisgehelen opbouwen en leren ze ook hoe volwassenen met deze betekenissen omgaan. In het begin zullen de kinderen nog maar gedeeltelijk in staat zijn de handelingen in deze praktijken zelfstandig te vervullen. De rol van de leerkracht is om binnen de zone van de naaste ontwikkeling het gedeelte dat ze nog niet zelf kunnen voor te doen, waarna de leerlingen het geleidelijk overnemen met afnemende begeleiding van de leerkracht. Vanuit de handelingen die de leerlingen verrichten, komen via een proces van internalisatie de begrippen voort. Voor het internaliseren heeft de leerling taal nodig. Communicatie tussen leerling, leerkracht en medeleerlingen is daarom onmisbaar in het leerproces. In deze theorie is er dus sprake van een sterke koppeling tussen begrippen, taal en handelingen. Voor het basisonderwijs is deze visie geconcretiseerd in een aanpak die als Basisontwikkeling wordt aangeduid (Janssen-Vos, 1990).

Cognitive apprenticeship en transfer

Een onderwijsleerstrategie die aansluit bij een benadering waarin enerzijds de leerling kennis construeert, anderzijds de leerkracht de instrumenten aanreikt voor kennisverwerving in sociaal-culturele activiteiten is de strategie van 'cognitive apprenticeship'. Deze term komt voort uit een vergelijking met leerprocessen die plaatsvinden in een 'apprenticeship', een traditionele 'meester-gezel' situatie. Kenmerken van een dergelijke situatie zijn o.a. dat het leren plaatsvindt in een toepassingscontext, dat de expert de beoogde vaardigheden demonstreert, dat het eindniveau zichtbaar is, en dat de gezel-leerling de vaardigheden geleidelijk zelfstandiger gaat uitvoeren waarbij de instructies en de begeleiding van de expert afnemen. Collins e.a. (1989) gebruiken naar analogie hiervan voor hun strategie voor het verwerven van cognitieve vaardigheden de term 'cognitive apprenticeship'. Bepaalde aspecten

uit de traditionele meester-gezel situatie, zoals het geleidelijk zelfstandiger uitvoeren van de leertaak en het leren in een toepassingsgerichte context, zijn direct te vertalen naar het verwerven van cognitieve vaardigheden. De gedachte hierachter is dat deze vaardigheden niet als losstaande onderdelen worden aangeleerd, maar direct in een gebruikssituatie waardoor de leerling het belang kan inzien van het geleerde. Een ander belangrijk aspect van deze aanpak is dat metacognitie ontstaat door het inzicht in de leertaak en de regelmatige terugkoppeling op de eigen activiteiten. Er is echter ook een belangrijk verschil tussen het cognitive apprenticeship en het traditionele apprenticeship. Dit verschil is gelegen in de observeerbaarheid van het gedrag. Denkprocessen zijn niet rechtstreeks waarneembaar. Dat houdt voor deze strategie in dat het 'hardop denken' een belangrijke plaats inneemt. De aanpak van het cognitive apprenticeship houdt in dat de leerkracht eerst hardop denkend de gewenste handelingen demonstreert. Dit wordt 'modeling' genoemd. In de volgende fase probeert de leerling het zelf, waarbij de leerkracht begeleidt, met steeds minder sturing. Dit is de fase van 'coaching'. Op een gegeven moment is voortdurende begeleiding niet meer nodig, maar moet de leerling nog wel ondersteund worden door hulpvragen, checklisten of andere methoden die het leerproces ondersteunen. Dit wordt aangeduid met 'scaffolding'. Tenslotte moet de leerling het geleerde in een nieuwe context toepassen.

Een tweede verschil tussen traditioneel en cognitive apprenticeship is dat in cognitive apprenticeship de cognitieve vaardigheden in meerdere contexten inzetbaar moeten zijn. Dit geldt in elk geval voor de schoolcontext waarin het vormfunctieperspectief wordt aangeleerd en de toepassingscontext in het dagelijks leven. De school en het dagelijks leven blijken doorgaans dermate gescheiden culturen te zijn, dat het geleerde uit de ene cultuur zelden toegepast wordt in de andere cultuur. Voor het omgaan met betekenisvolle situaties buiten school zal de leerling daardoor meestal niet teruggrijpen op de kennis die op school is opgedaan, maar gebruikmaken van de kennis die verworven is in het buitenschoolse leven. Een kenmerk van de kennis die in het buitenschoolse leven verworven is, is dat leren en handelen daarin verweven zijn, en dat deze kennis moeilijk buiten de verwervingscontext te gebruiken is. Dit verschijnsel wordt aangeduid met *situated cognition* (Hennessy, 1993). Voor een goede, toepassingsgerichte verwerving moet het vormfunctieperspectief dus gekoppeld aan contexten worden aangeleerd, maar voor een goede transfer moet voorkomen worden dat het geleerde niet meer van de context losgemaakt kan worden. De leerling moet dus de vaardigheden, gekoppeld aan het vormfunctieperspectief, kunnen decontextualiseren, dat wil zeggen onderscheiden van de specifieke contextinhoud. Dit kan bereikt worden door het aanleren van het vormfunctieperspectief in een variëteit van situaties, zodat het geleerde niet gekoppeld raakt aan één context (Simons & Verschaffel, 1991). Belangrijk voor de transfer van het vormfunctieperspectief is dat de leerling gestimuleerd wordt om over de vaardigheden die voor transfer in aanmerking komen te communiceren in gesproken en geschreven taal, en liefst ook via andere representatievormen zoals afbeeldingen, conceptmaps en metaforen. Het vormfunctieperspectief moet dan ook verbonden worden met andere aanwezige kennis en met dagelijkse ervaringen. Daarbij is voor de transfer van belang dat een klein aantal over te dragen kernideeën uit het vormfunctieperspectief wordt geselecteerd die zelf veel relaties hebben. De motivatie van leerlingen om de betreffende vaardigheden werkelijk eigen te maken is van groot belang voor een succesvolle transfer, en

Hoofdstuk 3 Het verwerven van perspectieven

kan vergroot worden door te wijzen op het nut en de gebruikscontexten van de te verwerven kennis of vaardigheid, en het gebruikmaken van levensechte situaties en simulaties.

Samenwerkend leren

Hennessy & Murphy (1999) geven aan dat in situaties waarin kinderen moeten samenwerken, de noodzaak tot expliciteren en uitwisselen van ideeën vanzelfsprekend wordt, waardoor de denkbeelden in taal moeten worden uitgedrukt en zo bewuster hanteerbaar worden. Met name ontwerpproblemen zijn volgens Hennessy en Murphy geschikt om te komen tot samenwerkend probleemoplossen, daar er in dat geval zowel sprake is van concrete, betekenisvolle handelingen, waardoor denkprocessen ook zichtbaar worden (zie probleem bij cognitive apprenticeship) als van communicatie daarover. De gezamenlijke uitwisseling helpt ook bij de decontextualisering, doordat het spreken over het object al een zekere abstractie ervan inhoudt. Overigens wijzen de auteurs erop dat communicatie lang niet altijd in taal plaatsvindt, en dat voor een goede beschrijving zoveel mogelijk representaties moeten worden betrokken, zoals observaties, tekeningen etc. Hennessy en Murphy geven aan dat het van belang is dat de taken niet geheel gesloten zijn. De leerling moet ten dele eigen beslissingen kunnen nemen. Het beste is om te starten met kleinere en minder open taken, en om die daarna uit te bouwen tot meer open en meer omvattende taken. Voor mijn onderzoek zijn hieruit diverse punten van belang. Het ligt voor de hand voor het verwerven van het vormfunctieperspectief ontwerpactiviteiten in te bouwen. Om diverse redenen blijkt nu dat dit soort activiteiten ideaal zijn voor gezamenlijke kennisconstructie, mits de activiteiten ook het werken met concreet materiaal inhouden, niet te gesloten zijn en een reële context vormen. Voor het onderzoek is verder van belang dat zoveel mogelijk representaties worden gebruikt in het vastleggen van de interacties. Een specifiek voorbeeld hiervan is het communiceren over ontwerpen via email zoals in het KID-emailproject (De Vries & Van der Meij, 2002).

Metacognitie

In hoofdstuk 1 en in 3.3 is aangegeven dat het vormfunctieperspectief gezien moet worden als domeinspecifieke metacognitie. Ten aanzien van verwerven van metacognitie is onderzoekservaring opgedaan, onder meer in het Project to Enhance Effective Learning (PEEL-project). Technieken die hierin gebruikt werden om metacognitie te bevorderen waren o.a. het gebruik van logboeken en reflectievragen. De reflectievragen lieten de leerlingen nadenken over de vraag of ze de nieuwe informatie konden koppelen aan eerdere informatie, welke taken precies van hen verwacht werden en of de nieuwe kennis in te passen was in de eerdere kennis (Baird, 1986). Op deze manier hoopten de onderzoekers te bereiken dat de leerling oude en nieuwe kennis zou integreren, en deze niet naast elkaar zou laten bestaan. Metacognitieve training bleek resultaten op te leveren. Leerlingen bleken echter op de langere duur het invullen van logboeken en reflectievragen vervelend te gaan vinden. White & Gunstone (1989) pleiten dan ook voor een variatie aan reflectietechnieken, ook om te vermijden dat leerlingen antwoorden blindelings gaan invullen.

Een inhoudelijke kern

Eén van de punten die voor de transfer van het vormfunctieperspectief van belang zijn, is de selectie van een klein aantal kernbegrippen met veel relaties naar andere begrippen

(Simons & Verschaffel, 1991). In de leertheorieën van Davydov en van Reigeluth wordt ervoor gepleit om een dergelijke inhoudelijke kern al aan het begin van het leerproces expliciet aan te bieden. Davydov's leertheorie is gebaseerd op die van Vygotsky, en biedt een theoretische uitwerking van de wijze waarop theoretische begrippen verworven worden. Het leerplan zou zich volgens Davydov moeten baseren op de analyse van de meest wezenlijke relaties binnen een bepaald domein, waarvan de verdere relaties kunnen worden afgeleid. Davydov spreekt hierbij van de 'kiem'. De biologische metafoor duidt er hier op dat Davydov deze kiem ziet als iets van waaruit de kennis van een domein op een gestructureerde wijze kan groeien. De opgave van de didactiek is om leeractiviteiten te ontwerpen waarmee leerlingen zich deze kiem eigen kunnen maken (Engestrom & Hedegaard, 1984). Zo'n kiem zal doorgaans in de vorm van een eenvoudig model de leerlingen een werktuig moeten bieden waarmee de leerervaringen in een zinvol verband te koppelen zijn. Een andere leertheorie waarin een essentiële inhoudelijke kern bij de start wordt aangeboden is de elaboratietheorie van Reigeluth (Reigeluth, 1987). Ook hier start de instructie met de meest eenvoudige en fundamentele ideeën, door Reigeluth het 'epitoom' genoemd. In volgende leeractiviteiten worden van daaruit de leerinhouden steeds breder en gedetailleerder uitgewerkt, telkens teruggrijpend op de eerste inhoudelijke kern. Reigeluth gebruikt hiervoor de metafoor van de zoom-lens: eerst krijgt de leerling een totaalbeeld van het landschap met weinig details. Daarna wordt ingezoomd op onderdelen, waarbij de relatie van de onderdelen met het totaal in beeld blijft door regelmatig weer uit te zoomen. Een vergelijkbare strategie is ontwikkeld voor het biologieonderwijs in de vorm van de 'jojo-strategie' (Knippels, 2002).

3.5 Criteria voor een onderwijsleerstrategie

Uit voorgaande bespreking van leertheorieën en onderwijsstrategieën zijn de volgende criteria af te leiden waar een onderwijsleerstrategie die gericht is op het verwerven van het vormfunctieperspectief aan moet voldoen.

- Het expliciteren van denken en handelen door leerling en leerkracht
- Reflectie op het leerproces
- Leren in een realistische context met aandacht voor transfer
- Een kleine en goed herkenbare inhoudelijke kern

Het expliciteren van denken en handelen door leerling en leerkracht

Het onder woorden brengen en toelichten van gedachten en handelingen door de leerling is van belang, omdat de leerling op deze wijze gestimuleerd om de eigen redeneringen en begrippen in taal uit te drukken, waardoor ze ook voor haar/hemzelf beter hanteerbaar worden (Van Oers, 1987). Tevens wordt daardoor voor de leerkracht duidelijk welke opvattingen de leerling heeft, waardoor de leerkracht het onderwijs beter kan laten aansluiten bij de opvattingen van de leerling (Driver, 1988). Het expliciteren is een eerste stap op weg naar de decontextualisering, waardoor de handelingen in een bepaalde context vertaalbaar worden naar een andere context. Deze mogelijkheid tot transfer wordt nog verbeterd indien de leerling meerdere representatievormen kan hanteren, zoals tekeningen, demonstraties en dergelijke (Simons & Verschaffel, 1991). Door het expliciteren wordt

Hoofdstuk 3 Het verwerven van perspectieven

bovendien onderlinge uitwisseling tussen leerlingen mogelijk, waardoor ze beter van elkaar kunnen leren. Binnen de meester-gezel benadering is het expliciteren door de leerkracht in het modellerenproces van belang, daar op die manier het denken van de leerkracht voor de leerling waarneembaar is te maken (Collins e.a., 1989).

Reflectie op het leerproces

Voor het verwerven van metacognitie is het noodzakelijk dat de leerling communiceert over haar/zijn denken en handelen. Regelmatige reflectiemomenten zijn nodig om de leerling bewust te maken van wat deze er eigenlijk heeft bijgeleerd. Hiervoor is het wenselijk dat er afwisseling is in reflectietechnieken, daar leerlingen anders reflectie snel als een sleur kunnen ervaren (White & Gunstone, 1989). Belangrijk bij de reflectie is dat deze gekoppeld wordt aan toepassing van het geleerde, waaruit de leerling duidelijk kan worden wat het geleerde hem oplevert.

Leren in een realistische context met aandacht voor transfer

Het verwerven van kennis en vaardigheden die de leerling ook in buitenschoolse contexten moet toepassen, kan het beste binnen een context plaatsvinden (Hennessy, 1993). Het geleerde moet echter ook weer gedecontextualiseerd kunnen worden, onder andere door binnen het leerproces meerdere toepassingscontexten te betrekken (Simons & Verschaffel, 1991). Leerlingen dienen via het toepassen van het geleerde op betekenisvolle handelingen tevens zicht te krijgen op de vraag waar het geleerde voor dient (Collins e.a., 1989). Daaruit moet ook een belangrijk deel van de motivatie voortkomen; leerlingen moeten het gevoel hebben iets te leren waar ze wat aan hebben. Ontwerpactiviteiten blijken hierbij met name geschikt te zijn als context om kennis en vaardigheden te verwerven. Tevens blijken concrete ontwerpactiviteiten geschikt te zijn om samenwerkend leren te stimuleren (Hennessy & Murphy, 1999).

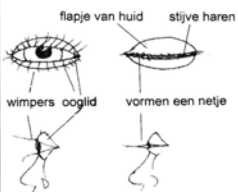

Een kleine en goed herkenbare inhoudelijke kern

Het vierde criterium voor de onderwijsleerstrategie is dat er gestart moet worden met een kleine inhoudelijke kern (aangeduid als 'kiem' of 'epitoom') waarin de meest fundamentele relaties al in begrijpelijke vorm aanwezig zijn en van waaruit de overige leerinhouden kunnen worden ontwikkeld. Dit criterium komt voort uit de leertheorieën van Davydov (Engestrom & Hedegaard, 1984) en Reigeluth (Reigeluth, 1987), en wordt tevens genoemd als een gunstige factor voor transfer (Simons & Verschaffel, 1991).

Hoofdstuk 4

De onderwijsleerstrategie

- 4.1. Inleiding
- 4.2. Het vormfunctieperspectief vertaald naar leerdoelen
- 4.3. Metacognitie als leerdoel
- 4.4. Op weg naar de onderwijsleerstrategie
- 4.5. De onderwijsleerstrategie
- 4.6. De structuur van het scenario

HOE ZIET HET ERUIT?	WAAROM ZO EN NIET ANDERS?	WAAR DIENT HET VOOR?
<p>HULPVRAGEN</p> <p>1. Uit welke onderdelen bestaat het? 2. Welke vorm hebben die onderdelen? 3. Waar zijn de onderdelen van gemaakt? (bijvoorbeeld: bot, huid, spier, haar) 4. Hoe zitten de onderdelen aan elkaar vast? Kan er wat bewegen?</p>  <p>wimpers bewegen mee met ooglid per oog bewegen de oogleden altijd tegelijk als je slaapt zijn ze dicht</p>	<p>HULPVRAGEN</p> <p>1. Hoe werken de onderdelen samen aan hun taak? 2. Zou het nog beter kunnen?</p> <p>Door knippen vegen de oogleden steeds een beetje traanvocht over het oog.</p> <p>Doordat de oogleden dun en licht zijn kost dat niet veel moeite</p> <p>Als je je ogen dichtknijpt vormen de wimpers een netje</p> <p>De oogleden reageren 'vanzelf', je hoeft er niet bij na te denken.</p> <p>Doordat de pupil niet bedekt wordt hou je vrij zicht</p> <p>Waterdieren kunnen wel zonder oogleden</p>	<p>HULPVRAGEN</p> <p>1. Waar dient het geheel voor? 2. Waar dient elk onderdeel voor? (als je dat niet weet, bedenk dan wat er zou gebeuren als dit onderdeel er niet zou zijn)</p>  <p>uitdroging</p> <p>ooglid beschermt tegen stof fel licht</p> <p>'seinfjes geven'</p> <p>wimper beschermt tegen stof</p>

4.1 Inleiding

De probleemstelling van dit onderzoek is vraag hoe leerlingen en leerkrachten geholpen kunnen worden bij de structurering van leerervaringen bij natuuronderwijs, terwijl toch de vragen van en de verkenning door de leerlingen een centrale plaats blijven innemen. Het uitgangspunt daarbij is de hypothese dat perspectieven, zoals het vormfunctieperspectief, daarbij kunnen helpen door te verhelderen *welke* vragen aan de orde zijn of kunnen zijn, de samenhang en relaties te laten zien in de verschijnselen, en heuristische te bieden voor het vinden van antwoorden. Dit uitgangspunt bevat tevens de veronderstelling dat perspectieven die door professionals worden gehanteerd, vertaalbaar zijn naar het onderwijs en relevant zijn voor leerlingen. Nu zowel de inhoud van het vorm-functieperspectief voor professionals (biologen en technisch ontwerpers) als de criteria voor een bijpassende leerstrategie zijn besproken, is het zinvol terug te komen op de oorspronkelijke bedoeling, en ons af te vragen wat het vorm-functieperspectief voor kinderen zou moeten inhouden. Dit betekent dat het vormfunctieperspectief omschreven moet worden in operationele doelen. Deze omschrijving is nodig voor de formulering van een specifieke onderwijsleerstrategie.

In paragraaf 4.2 worden voor natuuronderwijs leerdoelen afgeleid van het vormfunctieperspectief. Paragraaf 4.3 bevat criteria waarmee kan worden nagegaan of het vormfunctieperspectief ook als metacognitieve strategie functioneert. Paragraaf 4.4 geeft de structuur van de onderwijsleerstrategie, afgeleid van de criteria die in hoofdstuk 3 zijn geformuleerd. In paragraaf 4.4 wordt de ontworpen onderwijsleerstrategie zelf beschreven. Tenslotte wordt in 4.6 de structuur van het scenario beschreven, dat is ontwikkeld op basis van deze onderwijsleerstrategie.

4.2 Het vormfunctieperspectief vertaald naar leerdoelen

Bij het vertalen van het vormfunctieperspectief in leerdoelen worden in beginsel alle onderdelen daarvan in de onderwijsleerstrategie opgenomen. Aangezien dit onderzoek een verkennend karakter heeft, zal de praktijk moeten uitwijzen wat realiseerbaar is. Het nieuwe van deze aanpak ligt dan niet zozeer in het centraal stellen van de vormfunctierelatie of in het bespreken van technische ontwerpen. Het aangepast zijn van planten en dieren aan de omgeving is een vertrouwd thema in natuuronderwijs. In diverse projecten is gebleken dat basisschoolleerlingen over technische ontwerpen kunnen communiceren (o.a. De Vries & Van der Meij, 2002). Het nieuwe zit in het niveau waarop leerlingen met het vormfunctieperspectief bezig zijn. Daarmee wordt ten eerste bedoeld dat de vormfunctierelatie in veel meer gedaanten en veel systematischer naar voren komt dan gebruikelijk. De combinatie van biologische en technische onderwerpen in één lessenserie is daarbij een belangrijk onderdeel van de vernieuwing. Deze combinatie van biologie en techniek leidt tevens tot het tweede, belangrijker verschil met de huidige praktijk: de leerling leert kijken als een ontwerper, en kan over deze manier van kijken communiceren.

Het vormfunctieperspectief dat beoogd wordt in natuuronderwijs, wordt dus direct afgeleid van de kenmerken daarvan die in hoofdstuk 2 zijn beschreven. Centraal staan daarin de vier vraagtypen die in hoofdstuk 2 binnen het vormfunctieperspectief zijn onderscheiden.

Dit houdt in dat leerlingen die het vormfunctieperspectief hebben verworven, de volgende leerdoelen hebben bereikt:

Zij zijn geneigd en in staat om heen en weer te denken tussen vorm en functie, zowel bij biologische als bij technische structuren en processen.

Bij dit heen en weer denken stellen zij zich de volgende typen vragen:

- I. Waarvoor dient kenmerk X?
- II. Welke oplossing is er voor functie Y?
- III. Hoe werkt kenmerk X?
- IV. Waarom heeft kenmerk X vorm A en niet vorm A'?

Zij zijn in staat antwoorden te formuleren op de vier vragen I t/m IV:

- ad I. Functies van structuren en processen beschrijven als bijdrage aan het geheel waar deze deel van uitmaken
- ad II. Bij een gegeven functie het bijbehorende kenmerk (structuur of proces) zoeken of dit zelf ontwerpen
- ad III. Beschrijven op welke wijze de vorm van een kenmerk bijdraagt aan de functie
- ad IV. Voor- en nadelen van de betreffende vorm vergelijken met plausibele alternatieve vormen (counterfactuals);

Bovenstaande leerdoelen houden in dat leerlingen in staat zijn bij organismen en technische ontwerpen aan te geven dat deze opgebouwd zijn uit samenwerkende onderdelen, waarbij de onderdelen functies hebben ten dienste van het gehele object. Dat vereist een begin van systeemdenken bij leerlingen. Zowel in de techniekdidactiek (Ploegmakers, 1994) als in de didactiek van de biologie (Boersma, 1997; Janssen, 1999) is de systeembenadering een belangrijke basis. Een uitwerking daarvan voor het onderwerp genetica is gemaakt door Knippels (2002). Kern daarvan is het 'op en neer denken' (door Knippels als 'jo-jo-denken' aangeduid) waarbij steeds actief de relatie wordt gelegd tussen een verschijnsel op een bepaald organisatieniveau met verschijnselen op onder- en bovenliggende niveaus. Ook in de 'Invitations to Enquiry' in de BSCS Teachers Guide (Schwab, 1963) wordt in het kader van het concept 'Structure and function' een didactiek van vragen stellen gepresenteerd, waarbij steeds aan de orde komt welke rol een structuur of proces in het geheel heeft. Opgemerkt moet worden dat genoemde voorbeelden alle uit het voortgezet onderwijs komen, zodat onderzocht moet worden wat hiervan realiseerbaar is in bovenbouw basisonderwijs.

Een tweede onderliggend leerdoel voor het goed kunnen beschrijven van vormen en functies is het kunnen beschrijven van structuren qua ruimtelijke vorm, materiaal en constructie. Dit is wel een aspect dat in de didactiek van techniekonderwijs op de basisschool voorkomt, de zogeheten didactiek van ontwerpen, maken en gebruiken (SLO, 1993).

Teneinde de vraag naar de functie van een kenmerk bij levende organismen te kunnen onderzoeken moeten leerlingen een goed beeld hebben van welke functies dit kan betreffen, en tevens het verband van deze functies met de overleving van het organisme kunnen aangeven. Hiertoe is in dit onderzoek gekozen om functies te categoriseren via de in paragraaf 2.2.3. genoemde 'Funktionskreise' van Von Uexküll (1928). De indeling van Von Uexküll is gekozen omdat deze helder is, en goed te vertalen is naar het onderwijs. De vier functies, die tezamen de overleving van een organisme moeten waarborgen, zijn voor het basisonderwijs

Hoofdstuk 4 De onderwijsleerstrategie

vertaald in ‘de vier V’s’. Hiermee worden respectievelijk Voeding, Voortplanting, Verdedigen tegen vijanden en Verdedigen tegen een schadelijk milieu aangeduid. De ‘vier V’s’ kunnen een makkelijk te onthouden overzicht bieden waarmee leerlingen kunnen werken bij het heen en weer denken tussen vorm en functie.

Met counterfactuals zijn in hoofdstuk 2 de fictieve ‘contra-ontwerpen’ aangegeven die een plausibel alternatief voor het bestaande ontwerp vormen omdat ze eenvoudiger, veiliger of voordeliger lijken. Het vergelijken met deze counterfactuals is een heuristiek om een verklaring te vinden voor het bestaande – niet ideale - ontwerp. Het verklaren van een ontwerp door dit te vergelijken met ‘counterfactuals’ is waarschijnlijk de meest complexe activiteit binnen het heen en weer denken. Toch zijn ook hier in de didactiek voorbeelden van verwante activiteiten. In de techniekdidactiek wijst Blandow (1993a, 1993b) op het belang om aan te geven dat kenmerken doorgaans compromissen zijn doordat ontwerpeisen tegenstrijdig zijn of doordat randvoorwaarden een meer ideaal ontwerp in de weg staan. In de didactiek van ontwerpend leren, zoals ontwikkeld door Janssen (1999) is het niet-ideale karakter van elk ontwerp een centraal punt; steeds moet de leerling van de bedachte oplossingen nagaan wat de voor- en nadelen zijn, en de oplossing met de minste nadelen kiezen. Wat dit leerdoel complex maakt is dat het gaat om verschillende soorten argumenten waarom voor kenmerk X vorm A beter is dan vorm A’. Ten eerste kan het zijn dat A in de gegeven omgevingsconditie beter is dan A’, bijvoorbeeld kleine blaadjes zijn in een droog klimaat vaak gunstiger dan grote. Ten tweede kan A een betere oplossing zijn dan A’ omdat A een beter compromis vormt tussen twee tegenstrijdige eisen, bijvoorbeeld bij vogelzang de eis tot opvallen bij soortgenoten versus de eis van niet opvallen bij predatoren. Ten derde kan A een betere oplossing zijn dan A’, omdat A een betere combinatie vormt met de vorm van andere kenmerken van het organisme waar het kenmerk deel van uitmaakt; bijvoorbeeld vleugels passen niet bij zware hoefdieren als transportmiddel.

Tenslotte moeten leerlingen bij het heen en weer denken gebruik leren maken van heuristieken zoals het gebruik van analogieën. Analooog denken is in de cognitieve psychologie een uitvoerig onderzochte component van leren en probleemoplossen. Leerlingen kunnen al op zeer jonge leeftijd analogieredeneringen maken, waarbij het eigen lichaam vaak een belangrijke bron van analogieën vormt (Vosniadou, 1989; Vosniadou & Ortony, 1989). Analogieën worden in het technisch ontwerpen en probleemoplossen gebruikt als hulpmiddel om het creatieve denkproces te helpen. In het onderwijs kunnen analogieën eveneens als heuristiek worden gebruikt om leerlingen te helpen zoeken naar de functie van iets (vraag I), te helpen ontwerpen (vraag II) en te helpen verklaren hoe iets werkt (vraag III). Analogieën kunnen echter ook misleidend zijn, bijvoorbeeld als leerlingen niet zien waar de overeenkomsten tussen het te bestuderen kenmerk en het analoge voorbeeld ophouden. Spiro e.a. (1989) en Glyn e.a. (1989) geven een overzicht van deze problemen en bevelen aan met meerdere analogieën te werken om deze problemen te voorkomen. Problemen met analogieën zijn overigens nog geen aanleiding om ze te vermijden. Lerenden gebruiken spontaan analogieën om iets te begrijpen, en dan kan je maar beter weten welke.

Een tweede heuristiek betreft die van het ontwerpend leren. Ontwerpend leren kan in het biologieonderwijs helpen om achter de functie van iets te komen (Janssen, 1999). In een gedachtenexperiment wordt nagegaan wat er mis zou gaan als het betreffende kenmerk er niet

zou zijn. Deze heuristiek is eenvoudig toe te passen in een onderwijsleerstrategie voor het vormfunctieperspectief.

In Figuur 4.1. zijn de leerdoelen van het vormfunctieperspectief op een rij gezet en onderverdeeld in subdoelen. Dit overzicht fungeert tevens als een checklist waarmee uitingen en producten van leerlingen tijdens het verloop van het onderwijsleerproces kunnen worden gecategoriseerd. De leerdoelen onder 1 en 2 betreffen het beschrijven van de vorm-aspecten. Deze staan als eerste genoemd, omdat zij ondersteunend zijn voor het kunnen hanteren van het vormfunctieperspectief. Dit wil overigens niet zeggen dat deze doelen in het onderwijsproces ook eerst afgerond moeten zijn. Onder nummer 3 en 4 staan de vier typen vraagstellingen die een relatie tussen vorm en functie leggen, en tevens de handelingen om tot een antwoord te komen. Deze vragen en bijhorende handelingen hebben in dit schema hetzelfde nummer, met een a. en b. aanduiding (zie bijv. nr. 3.1.a. en 3.1.b.). Nummer 5. bevat de leerdoelen die betrekking hebben op het beschrijven van functies. Tenslotte zijn onder 6. de heuristieken apart opgenomen.

4.3 Metacognitie als leerdoel

Voor het functioneren van het vormfunctieperspectief als metacognitieve strategie is het niet voldoende dat de leerling bovenstaande leerdoelen bereikt. Zij/hij moet tevens het vormfunctieperspectief als bewust te hanteren strategie zien, die toepasbaar is op een brede reeks verschijnselen. Dat betekent dat er naast genoemde leerdoelen van Figuur 4.1 nog een leerdoel van een andere orde is, namelijk metacognitie ten aanzien van het gebruik van de bril. Je zou kunnen zeggen dat de leerdoelen in Figuur 4.1 de onderdelen van de bril vormen, terwijl het leerdoel van de metacognitie het bewuste gebruik van de hele bril betreft. In hoofdstuk 3 zijn al criteria geformuleerd waaraan een onderwijsleerstrategie moet voldoen die metacognitie als doel heeft. De vraag is nu hoe te controleren is of deze metacognitie ook bereikt is. De leerdoelen uit paragraaf 4.2 zijn wel te controleren, maar geven op zich nog niet aan of de onderwijsleerstrategie ook geleid heeft tot metacognitie. In dit onderzoek zullen hiervoor de criteria worden gehanteerd die Van Oers (1987) heeft geformuleerd ten aanzien van het verwerven van begrippen. Van Oers ziet begrippen als een arsenaal van handelingsmogelijkheden. Theoretische begrippen dienen dan ook bruikbaar te zijn bij probleemoplossen en hebben altijd een praktische zijde. Volgens Van Oers bezit begripsmatig handelen de volgende vier kenmerken:

Wendbaarheid: de leerling kan het begrip hanteren in verschillende situaties, waarbij de objecten in deze verschillende situaties worden behandeld *alsof* ze gelijk zijn. Voor het vormfunctieperspectief is dit bij uitstek een vereiste, omdat daarin organismen worden behandeld *alsof* ze ontworpen objecten zijn. Wendbaarheid houdt dus in dat het begrip moet kunnen functioneren in andere contexten als waarin het is aangeleerd.

Systematiek: de leerling past het begrip toe op de juiste objecten, waarbij de leerling de daarbij horende handelingen volgens de regels uitvoert.

Taalgebondenheid: de leerling kan communiceren over het begrip.

Bewustheid: de leerling 'weet dat zij/hij het weet' en kan reflecteren op het begrip.

Leerdoelen ten aanzien van het vormfunctieperspectief

1. Kenmerken beschrijven als geheel met samenwerkende onderdelen

- 1.1.aan een kenmerk onderdelen onderscheiden en benoemen
- 1.2.aangeven waar een kenmerk onderdeel van is

2. Vormen beschrijven

- 2.1.structuren beschrijven
 - 2.1.1.ruimtelijke vorm benoemen
 - 2.1.2.materiaal benoemen
 - 2.1.3.constructie benoemen
- 2.2.processen beschrijven (zoals gebruik van technisch object en diergedrag)

3. Relatie leggen tussen kenmerk en functie

- 3.1.a.de vraag stellen '*Waarvoor dient kenmerk X?*' (type I)
- 3.1.b.aangeven waar een kenmerk voor dient
- 3.2.a.de vraag stellen '*Welke oplossing is er voor functie Y?*' (type II)
- 3.2.b.een bestaande oplossing zoeken die bij functie Y past
- 3.2.c.een oplossing ontwerpen die bij functie Y past

4.Vorm-functierelaties verklaren

- 4.1.a.de vraag stellen '*Hoe/waardoor werkt X?*' (type III)
- 4.1.b.verklaren hoe iets werkt via het effect van
 - 1.de ruimtelijke vorm
 - 2.het materiaal
 - 3.de constructie
 - 4.het proces
- 4.2.a.de vraag stellen '*Waarom heeft kenmerk X vorm A en niet vorm A'?*' (type IV)
- 4.2.b.voor- en nadelen van alternatieven afwegen in relatie tot
 - 1.de vereisten van de gebruikcontext/het leefmilieu
 - 2.de neveneffecten op andere functies (het compromis-karakter)
 - 3.het bij elkaar passen van deeloplossingen

5.Functies beschrijven

- 5.1.totaalfuncties en deelfuncties aan elkaar relateren
- 5.2.functies specificeren naar de gebruikssituatie (o.a. ontwerpeisen formuleren)

6.Heuristieken hanteren

- 6.1.nagaan wat er verandert bij wijziging/afwezigheid van een kenmerk
 - 6.1.1.'aanrommelen'
 - 6.1.2.voorspellen van veranderingen
 - 6.2.analogieën hanteren
 - 6.2.1.vorm-analogieën
 - 6.2.2.functie-analogieën
-

Figuur 4.1 Het vorm-functieperspectief uitgewerkt in leerdoelen.

Bovenstaande criteria voor het begripsmatig handelen lijken bij uitstek te passen bij het werken met perspectieven. Perspectieven zijn immers altijd verbonden met handelingen, zoals uitgewerkt in hoofdstuk 2 en 3. De criteria van Van Oers zijn daardoor goed bruikbaar als evaluatiecriteria om na te gaan of leerlingen het vormfunctieperspectief inderdaad als

metacognitief instrument verworven hebben. Zij zullen als zodanig in het onderzoek gehanteerd worden.

4.4 Op weg naar de onderwijsleerstrategie

Inmiddels zijn voldoende bouwstenen verzameld om een eerste schets van een onderwijsleerstrategie te kunnen maken. De criteria die in 3.5 zijn samengevat worden hieronder uitgewerkt voor gebruik in de onderwijsleerstrategie voor het vormfunctieperspectief. In paragraaf 3.4 is de strategie van het cognitive apprenticeship besproken. Deze strategie lijkt bijzonder bruikbaar voor het verwerven van het vormfunctieperspectief, daar drie van de vier criteria die in 3.5 zijn genoemd daarin een belangrijke rol spelen, namelijk het expliciteren van denken en handelen door leerling en leerkracht, reflectie op het leerproces, en het leren in realistische context met aandacht voor transfer. Bovendien is deze strategie afgeleid van voorbeelden van onderwijsleersituaties in andere vakken, die ook het werken met heuristieken betroffen (Collins e.a., 1989).

Het expliciteren van denken en handelen

De keuze voor het cognitive apprenticeship houdt voor de onderwijsleerstrategie in dat de leerkracht eerst hardop denkend de vragen en handelingen van het vormfunctieperspectief demonstreert. Dit wordt 'modeling' genoemd. In de volgende fase probeert de leerling het zelf, waarbij de leerkracht begeleidt, met steeds minder sturing. Dit is de fase van 'coaching'. Op een gegeven moment is voortdurende begeleiding niet meer nodig, maar moet de leerling nog wel ondersteund worden door hulpvragen, checklisten of andere methoden die het leerproces ondersteunen. Dit wordt aangeduid met 'scaffolding'. Tenslotte moet de leerling het geleerde in een nieuwe context toepassen.

Uitwisselen in groepen en rapporteren zijn methoden die zowel het expliciteren bevorderen als de reflectie op het geleerde. In de onderwijsleerstrategie zullen deze methoden met name gekoppeld worden aan ontwerpactiviteiten. Bij de rapportages worden 'ontwerpdiscussies' ingepland, waarin leerlingen ook op elkaars voorstellen kunnen reageren.

Reflectie op het leerproces

De hierboven genoemde ontwerpdiscussies dragen al bij aan de reflectie op de activiteiten. Hierbij wordt zowel verbaal als via tekeningen en ontworpen objecten gecommuniceerd, om te vermijden dat reflectie- en communicatieactiviteiten voor leerlingen routinematig worden. Daarnaast worden de leerlingen ook expliciet uitgenodigd te formuleren wat zij geleerd hebben. Op verschillende momenten wordt via een korte vragenlijst gepeild in hoeverre de leerlingen het vormfunctieperspectief zelf onder woorden kunnen brengen en hun eigen vorderingen daarin kunnen aangeven.

Leren in realistische context met aandacht voor transfer

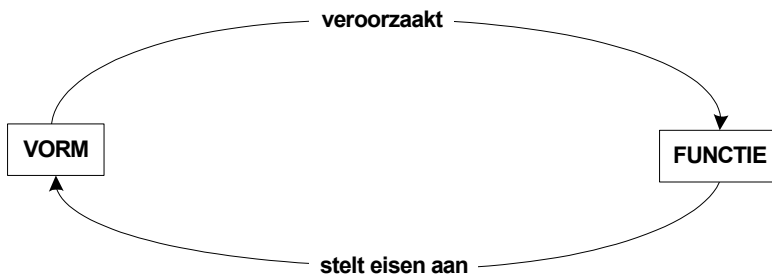
Door het vorm-functieperspectief zowel op biologische als op technische objecten toe te passen, wordt voldaan aan de voorwaarde voor transfer, namelijk dat de te verwerven vaardigheden in verschillende contexten worden geoefend. Daarmee wordt vermeden dat het

Hoofdstuk 4 De onderwijsleerstrategie

vorm-functieperspectief teveel gekoppeld blijft aan de context waarin het is aangeleerd, de wendbaarheid wordt vergroot. Er is zowel sprake van nabije transfer, van het ene technische naar het andere technische voorbeeld, als van verre transfer, van techniek naar biologie (Simons en Verschaffel, 1991).

Een kleine en goed herkenbare inhoudelijke kern: "de ontwerpersbril"

In paragraaf 3.4 zijn verschillende argumenten genoemd om een kleine vakinhoudelijke kern te hanteren waarin de fundamentele relaties al aanwezig zijn. In de onderwijsleerstrategie wordt hiervoor het basale schema van het vormfunctieperspectief gekozen.



Figuur 4.2 Basaal model van het vormfunctieperspectief.

In dit basale schema is het heen en weer denken al opgenomen, en de andere aspecten van het vorm-functieperspectief zijn goed vanuit dit schema uit te bouwen. Het schema zal ook gebruikt worden voor reflectiemomenten, om de leerling te stimuleren steeds duidelijker aan te geven wat met het vorm-functieperspectief wordt bedoeld.

Het basale schema is in de onderwijsleerstrategie vertaald in de 'ontwerpersbril' (Figuur 4.3) Hierbij is 'ontwerpersbril' de term die gehanteerd wordt voor het vormfunctieperspectief, de aanduiding 'hoe ziet het eruit' voor de vorm en de aanduiding 'waar dient het voor' voor de functie.

DE ONTWERPERSBRIL		
HOE ZIET HET ERUIT?	WAAROM ZO EN NIET ANDERS?	WAAR DIENT HET VOOR?

Figuur 4.3 De ontwerpersbril.

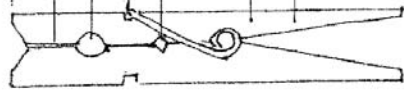
De ontwerpersbril wordt gebruikt als in te vullen schema bij het bestuderen van verschijnselen, waarbij door middel van pijlen verbindingen tussen de drie kolommen zijn te maken. Hierbij kan zowel aan de linkerkant worden begonnen (met een bekende vorm) of aan de rechterkant (met een bekende functie). Op deze manier is het schema een hulpinstrument voor de metacognitie, en kan het als ‘kiem’ worden opgevat.

De metafoor van de bril voor het begrip ‘perspectief’ hoeft weinig toelichting. Door de gekozen indeling kan het schema ook werkelijk de vorm van een bril hebben, waarbij tegelijk door het ene ‘glas’ naar de vorm en door het andere ‘glas’ naar de functie gekeken wordt. De verbinding tussen de twee glazen is dan de relatie tussen de vorm en de functie. Deze relatie is aan te geven met de vier typen vragen die onderscheiden zijn in het vorm-functieperspectief. Door middel van pijlen van links naar rechts en vice versa zijn deze relaties aan te geven, terwijl de verklaringen van deze relaties (vragen III en IV, zie par.4.2.) te noteren zijn in de middenkolom onder ‘waarom zo en niet anders’. De leerdoelen van het vormfunctieperspectief, zoals genoemd in 4.1, kunnen nu in dit schema worden geplaatst (figuur 4.4.). De onderdelen in het middenstuk komen overeen met de vier eerder beschreven vraagtypen.

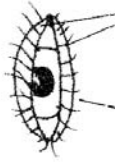
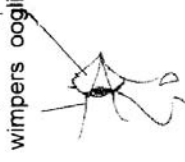
DE ONTWERPERSBRIL		
HOE ZIET HET ERUIT?	WAAROM ZO EN NIET ANDERS?	WAAR DIENT HET VOOR?
<p>Leerdoel 1. Kenmerken van organismen en technische ontwerpen beschrijven als systeem</p> <p>Leerdoel 2. Vormen beschrijven van structuren en processen</p>	<p>Leerdoel 3. Relatie leggen tussen vorm en functie (vraag I en II)</p> <p>Leerdoel 4. Vorm-functierelaties verklaren (vraag III en IV)</p> <p>Leerdoel 6. Heuristieken hanteren</p>	<p>Leerdoel 5. Functies beschrijven</p>

Figuur 4.4 Leerdoelen van het vormfunctieperspectief geplaatst in de ontwerpersbril.

In de bril-metafoor zijn de leerdoelen als de onderdelen van de bril te zien, en de metacognitie als het vermogen om de hele bril bewust op te zetten in passende situaties. Figuur 4.5 en 4.6 geven voorbeelden van uitgewerkte ontwerpersbrillen in de docentenhandleiding.

HOE ZIET HET ERUIT?	WAAROM ZO EN NIET ANDERS?	WAAR DIENT HET VOOR?
<p>HULPVRAGEN</p> <ol style="list-style-type: none"> Uit welke onderdelen bestaat het? Welke vorm hebben die onderdelen? Waar zijn ze van gemaakt? Hoe zitten ze aan elkaar en hoe beweegt het? 	<p>HULPVRAGEN</p> <ol style="list-style-type: none"> Wat zou er gebeuren als dit onderdeel er niet zou zijn? Wat zou er gebeuren als je de vorm verandert? Wat zou er gebeuren als je ander materiaal gebruikt? Wat zou er gebeuren als je het op een andere manier in elkaar zet? <p>Door afronding glijdt was er beter in _____</p> <p>Bij plastic wasknijpers zitten hier ribbeltjes _____</p> <p>Als de benen korter zijn knijpt het moeilijk. _____</p> <p>Als de benen langer zijn wordt hij onhandig _____</p> <p>Dit kan ook van plastic, maar niet van metaal, want dat roest en geeft viekken. _____</p> <p>Dit moet van metaal anders duwt de spiraal niet terug (metaal is elastisch) _____</p> <p>de spiraal zorgt voor de spanning die de knijper dichtduwt _____</p>	<p>HULPVRAGEN</p> <ol style="list-style-type: none"> Waar dient het geheel voor? Waar dienen de onderdelen voor? <p>1. was vasthouden aan de lijn</p> <p>Was in laten glijden _____</p> <p>Was klemmen _____ was aan lijn klemmen</p> <p>Rand van wasgoed vasthouden _____</p> <p>Waslijn vasthouden _____</p> <p>Open maken _____</p> <p>Sluiten _____ Open en dicht maken</p>

Figuur 4.5 De ontwerpersbril uitgewerkt voor de wasknijper in activiteit 4

<p>HOE ZIET HET ERUIT?</p> <p>HULPVRAGEN</p> <p>1. Uit welke onderdelen bestaat het? 2. Welke vorm hebben die onderdelen? 3. Waar zijn de onderdelen van gemaakt? (bijvoorbeeld; bot, huid, spier, haar) 4. Hoe zitten de onderdelen aan elkaar vast? Kan er wat bewegen?</p>	<p>WAAROM ZO EN NIET ANDERS?</p> <p>HULPVRAGEN</p> <p>1. Hoe werken de onderdelen samen aan hun taak? 2. Zou het nog beter kunnen?</p>	<p>WAAR DIENT HET VOOR?</p> <p>HULPVRAGEN</p> <p>1. Waar dient het geheel voor? 2. Waar dient elk onderdeel voor? (als je dat niet weet, bedenk dan wat er zou gebeuren als dit onderdeel er niet zou zijn)</p>
<p>flapje van huid stijve haren</p>  <p>wimpers ooglid vormen een netje</p>  <p>wimpers bewegen mee met ooglid per oog bewegen de oogleden altijd tegelijk als je slaapt zijn ze dicht</p>	<p>Door knipperen vegen de oogleden steeds een beetje traanvocht over het oog.</p> <p>Doordat de oogleden dun en licht zijn kost dat niet veel moeite</p> <p>Als je je ogen dichtknijpt vormen de wimpers een netje</p> <p>De oogleden reageren 'vanzelf', je hoeft er niet bij na te denken.</p> <p>Doordat de pupil niet bedekt wordt hou je vrij zicht</p> <p>Waterdieren kunnen wel zonder oogleden</p>	<p>ooglid beschermt tegen uitdroging stof fel licht</p> <p>'seintjes geven'</p> <p>wimper beschermt tegen stof</p>

Figuur 4.5 De ontwerpersbril uitgewerkt voor de oogleden activiteit 7

Hoofdstuk 4 De onderwijsleerstrategie

Behalve de hierboven besproken vier criteria die afgeleid zijn uit hoofdstuk 3, zijn nog drie andere criteria gebruikt bij de ontwikkeling van de onderwijsleerstrategie. Deze drie criteria benadrukken de noodzaak te starten bij de leerling, en deze te oriënteren op en te motiveren voor de leertaak. Zij geven richtlijnen voor de volgorde waarin de te bestuderen verschijnselen worden aangeboden.

Van bekend naar onbekend

De handelingen worden eerst geoefend aan technische ontwerpen, en vervolgens toegepast (en weer opnieuw geoefend) op biologische verschijnselen. Deze volgorde is bewust gekozen. De termen ontwerpen en ontwerper komen uit de techniek, en het ligt voor de hand eerst te leren denken als een ontwerper met technische voorbeelden, en daarna pas met biologische. Het denken in functies, oplossingen, alternatieven e.d. is voor een leerling minder verrassend bij een technisch voorbeeld, maar nieuw indien toegepast op het eigen lichaam, planten en dieren.

Van eenvoudig naar complex

De eerste vragen die aan de orde komen zijn van type I, in volgende stadia komen de vragen van type II, III en IV (zie par. 4.2.) voor. Deze volgorde is gekozen omdat de vraag 'waar dient dit voor' start vanuit een gegeven kenmerk en nog niet naar verklaringen vraagt. Vragen van type II starten met een functie, wat complexer is doordat er geen concreet voorwerp is om het onderzoek mee te starten, en doordat er vaak meerdere goede antwoorden mogelijk zijn op deze vraag. Vragen van type III en IV zijn nog complexer doordat daar naar verklaringen en argumenten wordt gevraagd. Overigens komen vragen van type II, III en IV wel al snel om de hoek kijken, omdat van het begin af aan gewerkt wordt aan het 'heen en weer denken', waarin de ene vraag al snel overgaat in de andere.

Oriëntatie en motivatie

Tenslotte is van belang dat leerlingen zich goed kunnen oriënteren op de leertaak. Het verwerven van een perspectief is een compleet ander leerdoel dan wat zij doorgaans gewend zijn. Het zal dan ook niet meteen duidelijk zijn waar de activiteiten allemaal voor dienen en wat ze eigenlijk geleerd hebben. De lessenserie moet dus niet alleen bij de tussentijdse reflecties, maar ook al aan het begin de leerlingen oriënteren op wat van hun verwacht wordt en duidelijk maken wat zij daaraan kunnen hebben. Om de leerlingen zich te laten realiseren dat zij door middel van het vormfunctieperspectief beter leren waarnemen, wordt een aantal malen gestart met de opdracht een structuur te tekenen zonder het voor zich te hebben, vervolgens de tekening te vergelijken met het echte voorwerp en na analyse met 'de ontwerpersbril' een tweede tekening te maken.

4.5 De onderwijsleerstrategie

Hieronder wordt in Tabel 4.1 de onderwijsleerstrategie voor het verwerven van het vormfunctieperspectief beschreven en beargumenteerd vanuit de opgestelde criteria.

Het gebruik van de strategie van het cognitive apprenticeship houdt in dat de leerlingen vanaf het begin al de handelingen die in de leerdoelen worden genoemd onder begeleiding uitvoeren. De onderwijsleerstrategie is erop gericht dat de leerlingen hierin steeds zelfstandiger worden. De leerdoelen van Figuur 4.1 fungeren dus wel als ijkpunten, maar daarbij moet steeds worden aangegeven in hoeverre de leerlingen ook in staat zijn deze handelingen zelfstandig uit te voeren.

Tabel 4.1 De onderwijsleerstrategie voor het vormfunctieperspectief.

nr	Activiteit	Gepland leerproces	Verantwoording
1	Oriëntatie	<p>De leerling leert dat verschillende mensen in eenzelfde situatie vaak een verschillende manier van waarnemen hebben en daardoor verschillen in wat ze waarnemen. De leerling weet dat deze lessen gaan over een nieuwe manier van kijken.</p> <p>Aan de hand van de bespreking van een technisch voorbeeld (paperclip) en een biologisch voorbeeld (wenkbrauw) ondervindt de leerling dat je, om het ontwerp van dit soort structuren te kunnen begrijpen, heen en weer moet denken tussen vorm en functie. Hierbij maakt de leerling kennis met het schema van de ontwerpersbril. De leerling tekent hierop eerst uit het hoofd een object en noteert later de werkelijke vorm en de functie daarvan.</p>	<p>De oriëntatie is van belang om de leerling erop te wijzen dat het leerresultaat van deze lessenserie van een andere orde is dan ze gewend zijn. Dit is echter pas duidelijk te maken door een ervaring daarmee. Daarom wordt de ontwerpersbril als kiem meteen geïntroduceerd, waarbij de leerlingen in eerste instantie uitgaan van de vorm van twee eenvoudige bekende objecten. Dit is gebaseerd op de criteria om van eenvoudig naar complex en van bekend naar onbekend te gaan. Het starten met de zichtbare vorm in plaats van met de onzichtbare functie heeft ook daarmee te maken. Wel wordt meteen het heen en weer denken gedemonstreerd, omdat dit de kern van het vormfunctie-perspectief is. De verwachting hierbij is dat de resultaten van de nieuwe manier van kijken zullen bijdragen aan de motivatie.</p>
2	Ontwerpen	<p>Uitgaande van een gegeven probleem ('hoe voorkom je dat potloden van de tafel rollen') ontwerpen leerlingen in groepen oplossingen daarvoor. Daarna discussiëren zij klassikaal over elkaars oplossingen.</p>	<p>Nadat in activiteit 1 het denken gestart is van vorm naar functie (I) komt nu het denken van functie naar vorm aan bod via het ontwerpen (II). Door middel van de ontwerpdiscussie zullen ook verklaringen van vorm-functierelaties aan de orde komen (III,IV), waarbij de leerlingen hun denken expliciteren en de leerkracht hierbij deels voordoet (modeling) en deels ondersteunt (scaffolding).</p>

Hoofdstuk 4 De onderwijsleerstrategie

nr	Activiteit	Gepland leerproces	Verantwoording
3	Reflectie op ontwerpen	De leerling beschrijft de ruimtelijke vorm, het materiaal en de constructie van de oplossingen uit activiteit 2. De keuzen voor de betreffende vorm, materiaal en constructie worden beredeneerd. Tevens bespreken de leerlingen dat elke oplossing voor- en nadelen heeft in een bepaalde context.	De reflectie in deze activiteit maakt vanuit hun concrete ervaringen het keuzeprocess van een ontwerper zichtbaar, en expliciteert onder andere het compromiskarakter van elk ontwerp (IV).
4	Leren kijken met de ontwerpersbril	De leerlingen analyseren met behulp van de ontwerpersbril een gegeven voorwerp (wasknijper). Hierbij wordt deze eerst uit het hoofd getekend, daarna wordt de tekening vergeleken met het voorwerp en tenslotte wordt het ontwerp geanalyseerd met de ontwerpersbril (zie Figuur 4.5)	De leerling krijgt een complexer object met onderdelen, zodat de vraag 'waar dient het voor' (I) op verschillende niveaus een rol speelt. De ontwerpersbril als kiem wordt hiermee uitgebreid door expliciet te werken met de middenkolom (III en IV). Hierbij speelt de heuristiek van ontwerpend leren een rol door steeds na te gaan wat er mis zou gaan als een onderdeel er niet zou zijn of anders zou zijn (counterfactuals). Bij dit alles is nog veel modeling door de leerkracht vereist.
5	Zelf kijken met de ontwerpersbril	De leerlingen zoeken in de klas een onderdeel dat op het bord getekend staat en dat in de klas te vinden is. De leerlingen kiezen daarna zelf een voorwerp in de klas uit om op dezelfde wijze te analyseren als de wasknijper. Zij presenteren het resultaat door middel van een poster waarop zij de ontwerpersbril invullen voor het betreffende voorwerp.	De leerlingen oefenen nu verder met het verklaren van een ontwerp (I,III,IV), waarbij de rol van de leerkracht overgaat in coaching en scaffolding. Scaffolding vindt ook plaats via hulpvragen op de werkbladen. Doordat het werk in groepjes plaatsvindt oefenen de leerlingen ook verder met het expliciteren van hun denken en handelen.
6	Reflectie op de ontwerpersbril	De voorwerpen uit activiteit 5 worden vergeleken, en de leerlingen wordt gevraagd de ontwerpen te verklaren. De leerlingen gaan via een vragenlijst na wat ze van het vormfunctieperspectief kunnen zeggen	Via de vragen wordt o.a. gecontroleerd of de leerling weet waarop de ontwerpersbril wel en niet van toepassing is (systematiek), en of de leerling zich bewust is van een andere manier van kijken en dit onder woorden kan brengen (taligheid en bewustheid)

Hoofdstuk 4 De onderwijsleerstrategie

nr	Activiteit	Gepland leerproces	Verantwoording
7	Levende dingen leren bekijken	Aan de hand van een verhaal leren de leerlingen welke functie oogleden hebben, en tevens dat voor dezelfde functie andere ontwerpen denkbaar zijn. Vervolgens vullen de leerlingen de ontwerpersbril in voor de oogleden. Hierbij gaat het om de combinatie van structuur (ooglid en wimper) en proces (beweging van de oogleden). Zie Figuur 4.6.	De wendbaarheid en systematiek van de ontwerpersbril wordt uitgebreid door de transfer naar biologische voorbeelden. De leerlingen leren dat je oogleden ook kunt zien als een ontwerp voor de oplossing van een probleem (II). Deze activiteit is de parallel van les 4; bij de analyse van het ooglid is de leerkracht nog veel bezig met modeling, vooral om de leerlingen via ontwerpend leren na te laten denken over counterfactuals (I,III,IV) ("wat zou er gebeuren als je wimpers langer of korter zouden zijn?").
8	Zelf levende dingen bekijken	De leerlingen analyseren nu zelfstandig vorm-functierelaties van gekiemde bonen met behulp van de ontwerpersbril.	Deze activiteit is equivalent aan activiteit 5: de leerlingen oefenen nu zelfstandig met de ontwerpersbril waarbij de leerkracht als coach ondersteunt en hulpvragen op het werkblad scaffolding bieden.
9	De vier V's	De leerlingen leren dat elk organisme moet zorgen voor Voeding, Verdediging tegen vijanden, Verdediging tegen schade en Voortplanting. Dit wordt aangeduid als 'de vier V's'. Vervolgens oefenen de leerlingen met het sorteren van gegeven kenmerken onder de vier V's, en met het zoeken van kenmerken bij deze functies op foto's van planten en dieren.	Om ook bij levende organismen ontwerpredeneringen (II) te kunnen maken moeten de leerlingen eerst weten welke hoofdfuncties een organisme moet vervullen. Hiertoe worden de vier V's geïntroduceerd. De leerlingen leren hiermee zowel van vorm naar deze functie te werken (I) als vanuit deze functie naar een bijpassend kenmerk te zoeken (II).
10	Ontwerpen van de natuur	Leerlingen krijgen verschillende voorbeelden van processen (vogelzang) en structuren (de bouw van schedels en vruchten). Ze formuleren ontwerpverklaringen voor de verschillen tussen deze kenmerken (IV).	Deze activiteit laat leerlingen meerdere 'ontwerpen' vergelijken, waarbij de vraag beantwoord moet worden hoe de verschillen daartussen te verklaren zijn (IV). Het compromis-karakter van elke oplossing komt daarbij weer om de hoek kijken.

Hoofdstuk 4 De onderwijsleerstrategie

nr	Activiteit	Gepland leerproces	Verantwoording
11	Zelf natuur ontwerpen	De leerlingen ontwerpen, uitgaande van gegeven omgevingscondities en van de vier V's, een dier dat kan overleven. De ontwerpen worden gerapporteerd en bediscussieerd.	Deze activiteit is equivalent aan activiteit 2; de leerlingen gaan dieren ontwerpen (II) waarbij zij oplossingen voor de vier V's moeten integreren in één ontwerp. Bij de daaropvolgende discussie over de ontwerpen moeten de leerlingen hun ontwerp verklaren (III, IV)
12	Tweede reflectie op de ontwerpersbril	De leerlingen krijgen een quiz waarin ze hun vaardigheden kunnen demonstreren en krijgen de tweede vragenlijst over het vorm-functieperspectief, met grotendeels dezelfde vragen als in activiteit 6.	Via de vragen wordt o.a. gecontroleerd of de leerling weet waarop de ontwerpersbril wel en waarop deze niet van toepassing is (systematiek), en of de leerling zich bewust is van een andere manier van kijken en dit onder woorden kan brengen (taligheid en bewustheid)

Tabel 4.2. laat zien hoe de leerdoelen van het vormfunctieperspectief verdeeld zijn over de activiteiten.

Tabel 4.2 Verdeling van de leerdoelen over de activiteiten.

leerdoelen	activiteiten											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. Kenmerken beschrijven als geheel met samenwerkende onderdelen												
1.1.aan een kenmerk onderdelen onderscheiden en benoemen				x	x					x		
1.2.aangeven waar een kenmerk onderdeel van is				x	x							
2. Vormen beschrijven												
2.1.structuren beschrijven												
2.1.1.ruimtelijke vorm benoemen	x	x	x	x	x		x	x		x	x	
2.1.2.materiaal benoemen		x	x	x	x		x	x		x	x	
2.1.3.constructie benoemen		x	x	x	x		x	x				
2.2.processen beschrijven	x			x	x		x	x		x	x	
3. Relatie leggen tussen kenmerk en functie												
3.1.a.de vraag stellen 'Waarvoor dient kenmerk X?' (type I)	x	x		x	x		x	x	x	x		
3.1.b.aangeven waar een kenmerk voor dient	x	x		x	x		x	x	x	x		
3.2.a.de vraag stellen 'Welke oplossing is er voor functie Y?' (type II)									x			
3.2.b.een bestaande oplossing zoeken die bij functie Y past									x			
3.2.c.een oplossing ontwerpen die bij functie Y past		x									x	
4.Vorm-functierelaties verklaren												
4.1.a.de vraag stellen 'Hoe/waardoor werkt X?' (type III)	x	x		x	x		x	x	x	x		
4.1.b.verklaren hoe iets werkt via het effect van												
1.de ruimtelijke vorm	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	
2.het materiaal		x	x	x	x		x	x	x	x	x	
3.de constructie		x	x	x	x		x	x				
4.het proces									x	x	x	
4.2.a.de vraag stellen 'Waarom heeft kenmerk X vorm A en niet vorm A?' (type IV)	x	x									x	
4.2.b.voor- en nadelen van alternatieven afwegen in relatie tot												
1.de vereisten van de gebruikssituatie/leefmilieu		x					x	x	x	x	x	
2.het neveneffect van de vorm op andere functies		x								x	x	
3.het bij elkaar passen van deeloplossingen		x							x	x	x	
5.Functies beschrijven												
5.1.totaalfuncties en deelfuncties aan elkaar relateren				x	x				x	x	x	
5.2.functies specificeren naar de gebruikssituatie (o.a. ontwerpeisen formuleren)		x							x	x	x	
6.Heuristieken hanteren												
6.1.nagaan wat er verandert bij wijziging/afwezigheid van een kenmerk												
6.1.1.'aanrømmelen'		x										
6.1.2.voorspellen van veranderingen		x		x	x							
6.2.analogieën hanteren												
6.2.1.vorm-analogieën											x	
6.2.2.functie-analogieën											x	
Metacognitie												
Wendbaarheid												
Systematiek						x						x
Taligheid en bewustheid						x						x

4.6 De structuur van het scenario

Op basis van bovenstaande onderwijsleerstrategie is een scenario ontwikkeld. Dit scenario is in Bijlage 1 beschreven volgens het format dat in Figuur 4.7 is opgenomen. In het onderzoek zijn twee versies van het scenario getest. Het beschreven scenario is de tweede versie. In de beschrijving van het testverloop komen de verschillen tussen de beide scenario's aan de orde.

Activiteit nr.	
Plaats binnen het scenario:	
Leerdoelen:	
Ervaring met handelingen uit het vormfunctieperspectief:	
Gepland leerproces	Rol van de leerkracht
Legitimatie	

Figuur 4.7 Format voor een activiteit van het scenario.

Door het uitvoeren en evalueren van het scenario wordt onderzocht of de onderwijsleerstrategie adequaat is. Het scenario bevat de hypothesen over het verwachte leerproces. Deze hypothese staat per activiteit vermeld in de kolom 'gepland leerproces'. De specifieke uitwerking van de onderwijsleerstrategie staat onder 'rol van de leerkracht', waarin ook verwezen wordt naar hulpmiddelen zoals werkbladen en concreet materiaal. De rol van elke activiteit in het totale leerproces wordt steeds gegeven in de kolom 'plaats binnen het scenario'. Het verwachte leerresultaat staat vermeld in de kolom 'doelstelling'. Daaronder staan ook steeds de handelingen uit het vorm-functieperspectief (zie Figuur 4.1) die in de betreffende activiteit aan de orde zijn. Verwijzingen daarnaar zijn steeds *cursief* weergegeven. De verantwoording van keuze en volgorde van inhoud en werkvormen wordt gegeven in de kolom 'legitimatie'.

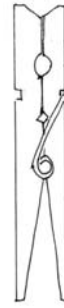
Het scenario bevat tenslotte ook onderdelen die bestemd zijn om dit leerproces te *onderzoeken*. In veel gevallen is de onderzoeksfunctie van een activiteit niet te scheiden van de didactische functie. Bijvoorbeeld het invullen van een reflectie-vragenlijst levert gegevens voor het onderzoek, maar stimuleert ook het leerproces. In principe wordt het scenario beschreven als didactisch instrument. Waar activiteiten tevens gekozen zijn als onderzoeksinstrument zal dit erbij vermeld worden.

Het scenario is verdeeld in 12 wekelijkse lessen van elk ongeveer 45 minuten. Dit is gekozen om aan te sluiten bij de praktijk; doorgaans wordt op de betreffende scholen eenmaal per week 45 minuten natuuronderwijs gegeven. Het volledige scenario is opgenomen in Bijlage 1.

Hoofdstuk 5

De toetsing van het scenario

- 5.1. Inleiding
- 5.2. Onderzoeksprocedure
 - 5.2.1. Deelvragen
 - 5.2.2. Het benaderen van leerkrachten
 - 5.2.3. Dataverzameling
 - 5.2.4. Analyse van de data
 - 5.2.5. De twee onderzoeks rondes
- 5.3. Resultaten per activiteit
 - 5.3.1. Oriëntatie
 - 5.3.2. Ontwerpen
 - 5.3.3. Reflectie op ontwerpen
 - 5.3.4. Leren kijken als een ontwerpen
 - 5.3.5. Zelf kijken met de ontwerpersbril
 - 5.3.6. Reflectie op de ontwerpersbril
 - 5.3.7. Levende dingen bekijken als een ontwerper
 - 5.3.8. Zelf levende dingen bekijken
 - 5.3.9. De vier V's
 - 5.3.10. Ontwerpen van de natuur
 - 5.3.11. Zelf natuur ontwerpen
 - 5.3.12. Tweede reflectie op de ontwerpersbril
 - 5.3.13. Napeiling
- 5.4. Resultaten van het scenario wat betreft de leerdoelen
 - 5.4.1. Leerdoel 1,2 en 5: beschrijven van kenmerken en functies
 - 5.4.2. Leerdoel 3: relaties leggen tussen vorm en functie
 - 5.4.3. Leerdoel 4: vorm-functierelaties verklaren
 - 5.4.4. Het heen-en-weer denken
 - 5.4.5. De mate van zelfstandigheid
- 5.5. Resultaten van het scenario wat betreft de metacognitie
 - 5.5.1. Wendbaarheid
 - 5.5.2. Systematiek
 - 5.5.3. Taligheid en bewustheid
- 5.6. Adequaatheid van het scenario



5.1 Inleiding

In hoofdstuk 4 is het vormfunctieperspectief vertaald in leerdoelen voor leerlingen basisonderwijs. Tevens is de onderwijsleerstrategie voor het verwerven van het vormfunctieperspectief beschreven en verantwoord. De onderwijsleerstrategie is vervolgens uitgewerkt in een scenario. Door dit scenario uit te testen in de praktijk, kan de derde onderzoeksvraag worden beantwoord, namelijk:

Is het scenario adequaat voor het verwerven van het vorm-functieperspectief?

In 5.2 wordt de onderzoeksprocedure beschreven, inhoudende de methode van dataverzameling en –analyse, en de criteria op grond waarvan beoordeeld zal worden in hoeverre het scenario adequaat is geweest. In 5.3 volgen per leeractiviteit de bespreking van de uitvoering van het scenario en van de mate waarin onderdelen van het vormfunctieperspectief zijn bereikt. In paragraaf 5.4 worden de resultaten op het niveau van het volledige scenario besproken. Paragraaf 5.5 gaat in op de vraag of metacognitie is bereikt via het bespreken van de in 4.3 genoemde criteria voor begripsmatig handelen. Tenslotte wordt in paragraaf 5.6 de vraag beantwoord in hoeverre het scenario adequaat is geweest.

5.2. Onderzoeksprocedure

Bij het uittesten zijn de volgende stappen ondernomen. De vraag of het scenario adequaat is, is uitgewerkt in deelvragen met observeerbare criteria (5.2.1). Vervolgens zijn leerkrachten benaderd met de vraag of zij wilden meewerken aan het uittesten van het scenario (5.2.2). Bij de uitvoering zijn data verzameld op de manier die in 5.2.3 is beschreven. In 5.2.4 staat hoe deze data zijn geanalyseerd, waarbij het overzicht van leerdoelen (Figuur 4.1) gehanteerd is als categoriseringssysteem. In 5.2.5 is beschreven hoe de twee onderzoeksrondes (zie Figuur 1.3) op elkaar zijn betrokken.

5.2.1. Deelvragen

In paragraaf 4.5 is besproken dat het gebruik van de strategie van cognitive apprenticeship inhoudt dat de leerlingen vanaf het begin al de handelingen die in de leerdoelen van Figuur 4.1 worden genoemd onder begeleiding uitvoeren, en dat deze begeleiding geleidelijk minder wordt totdat de leerlingen de handelingen zelfstandig uitvoeren. De vraag of het scenario adequaat is voor het verwerven van het vormfunctieperspectief moest dus worden onderzocht door zowel na te gaan of de leerlingen de handelingen, genoemd in de leerdoelen van Figuur 4.1 kunnen uitvoeren, als door na te gaan met welke mate van zelfstandigheid zij dit doen.

Ten aanzien van de metacognitie zijn de in paragraaf 4.3 genoemde kenmerken van begripsmatig handelen onderzocht, te weten wendbaarheid, systematiek, taligheid en bewustheid (Van Oers, 1987). Hierbij zijn de kenmerken taligheid en bewustheid bij elkaar genomen, daar het in de praktijk moeilijk bleek deze te scheiden. Deze evaluatie betrof de vraag of de leerlingen de handelingen in nieuwe contexten op een juiste wijze konden toepassen, en of ze in staat waren over dit handelen te communiceren.

De volgende deelvragen zijn geformuleerd om onderzoeksvraag 3 te operationaliseren.

Deelvraag 3.1. Leert de leerling gedurende het onderwijsleerproces te redeneren van vorm naar functie en andersom?

Dit is onderzocht door na te gaan of de leerlingen de handelingen zoals genoemd in Figuur 4.1, in toenemende mate zelfstandig kunnen uitvoeren en in toenemende mate kunnen deelnemen aan een ontwerpdiscussie. Het scenario gaat uit van de strategie van het cognitive apprenticeship, zoals beschreven in hoofdstuk 3.4, 4.4 en 4.5. In deze strategie wordt de begeleiding steeds minder, van modeling, via coaching naar scaffolding. Deze stappen in begeleiding zijn gebruikt om aan te geven met hoeveel begeleiding de leerlingen toekunnen om de gewenste handelingen te kunnen verrichten.

Deelvraag 3.2. Kan de leerling het vormfunctieperspectief wendbaar hanteren?

De wendbaarheid is beoordeeld door de volgende twee vragen te beantwoorden:

- a. Is de leerling in staat zelfgekozen nieuwe objecten te analyseren met het vormfunctieperspectief?
- b. Is de leerling in staat het vorm-functieperspectief vanuit de techniek te vertalen naar verschijnselen bij levende organismen?

Deelvraag 3.3. Is het handelen met het vormfunctieperspectief systematisch ?

De systematiek is beoordeeld via de volgende vragen:

- a. Kan de leerling aangeven op welke objecten het vormfunctieperspectief wel en op welke het niet van toepassing is?
- b. Past de leerling de handelingen behorend bij het vormfunctieperspectief juist en volledig toe?
- c. Kan de leerling zelf vragen formuleren die voortkomen uit de relatie tussen vorm en functie?

Deelvraag 3.4. Is het handelen met het vormfunctieperspectief talig en bewust?

Dit is onderzocht door de volgende vragen te beantwoorden:

- a. In welke bewoordingen omschrijft de leerling het vorm-functieperspectief?
- b. Geeft de leerling zelf aan een nieuw perspectief te hebben verworven?
- c. Reflecteert de leerling op het werken met de ontwerpersbril?
- d. Kan de leerling de zin van het vormfunctieperspectief aangeven?

Het antwoord op deelvraag 3.1 wordt per activiteit besproken in paragraaf 5.3 en samengevat over het gehele scenario in 5.4. Het antwoord op de deelvragen 3.2, 3.3 en 3.4 wordt besproken in paragraaf 5.5.

5.2.2 Het benaderen van leerkrachten

Aan de Onderwijsbegeleidingsdienst Eemland is gevraagd namen op te geven van leerkrachten die lesgeven aan groep 7 en die belangstelling hebben getoond voor het vak natuuronderwijs. Deze leerkrachten zijn benaderd met de vraag of ze wilden meewerken aan

Hoofdstuk 5 De toetsing van het scenario

dit onderzoek. Uiteindelijk zijn drie leerkrachten van basisscholen in Baarn en Leusden uitgekozen en bereid gevonden mee te werken. De school in Leusden is uitgezocht om het eerste scenario uit te testen, waarna de twee scholen in Baarn het tweede scenario hebben uitgevoerd. Alle drie de leerkrachten hadden ruime ervaring en gaven 3 jaar of meer les aan groep 7. De school in Leusden betrof de openbare basisschool 'De Heerd' (in het vervolg aangeduid als De Heerd). De klas bestond hier alleen uit leerlingen van groep 7 (33 leerlingen). Eén van de scholen uit Baarn was de r.k.Jenaplanschool Montini (in het vervolg aangeduid als Montini), waar gewerkt is met een gemengde groep 6-7-8 (34 leerlingen). De andere Baarnse school was de p.c. Koningin Wilhelminaschool (in het vervolg aangeduid met KWS), met een gemengde groep 7/8 (28 leerlingen). In alle drie de klassen waren de leerlingen in groepjes van 4-6 leerlingen gegroepeerd, waarbij op Montini de groepjes heterogeen waren samengesteld, op KWS homogeen. Eén groepje van 5 leerlingen op KWS bestaat uit jongens die moeite hebben om het bij te benen, min of meer hun tijd uitzitten en vaak problemen hebben met de motivatie. De scholen waren goed voorzien van materiaal, en niet gelegen in achterstandswijken. Het percentage allochtonen was op alledrie de scholen laag. De lessenserie is op De Heerd uitgevoerd in de periode oktober-december 1999, op de overige twee scholen in de periode februari-april 2000.

In dit onderzoek is gekozen om de lessen door de leerkrachten zelf te laten uitvoeren. Hierbij was ik in de les aanwezig om te observeren en vragen te stellen aan leerlingen ten behoeve van het onderzoek. In enkele gevallen heb ik een introductie of afsluiting van een les verzorgd. De achtergrond voor de keuze om de lessen niet zelf te geven was, dat het erg moeilijk is om tegelijk les te geven en te observeren wat er gebeurt. Een tweede argument was dat bij uitvoering door de eigen leerkracht ook beter gegevens konden worden verzameld over de uitvoerbaarheid van de lessen, en het scenario ook los van de bedenker kon worden uitgetoetst. Doordat de leerkrachten zich op het scenario moesten voorbereiden, konden vragen van hun kant naar voren komen die nuttig bleken voor de verheldering van het scenario. De gekozen onderwijssituaties kunnen als gunstig voor natuuronderwijs worden bestempeld: gemotiveerde leerkrachten, en goed voorziene scholen met weinig sociale problematiek. In minder gunstige omstandigheden zouden andere factoren dan het scenario een te grote invloed kunnen hebben op het onderwijsleerproces, waardoor het scenario zelf minder uit de verf zou komen.

De leerkrachten zijn voorbereid op de uitvoering van de lessen door middel van een introductie cursus van een middag, waarna verdere begeleiding plaatsvond via een gedetailleerd uitgewerkte handleiding, en voorafgaand aan elke les een gesprek over mogelijke knelpunten.

5.2.3. Dataverzameling

Observatie

Alle lessen zijn op audiocassette vastgelegd. Dit hield in dat alle klassikale activiteiten werden vastgelegd, en bij groepsactiviteiten steeds van één groep opnames zijn gemaakt. De bandopnames werden afgespeeld, en de gedeeltes waarin sprake was van vragen of opmerkingen over vorm, functie, of relatie tussen vorm en functie van een object of verschijnsel zijn woordelijk uitgeschreven in een protocol. Daarnaast is het verloop via een

open observatie gevolgd, waarbij aantekeningen zijn gemaakt. Hierbij werden alle mondelinge uitingen van leerkracht en leerlingen tijdens de klassikale activiteiten genoteerd. Deze aantekeningen dienden ter aanvulling van de bandopnamen, onder andere om na te kunnen gaan welke leerling op welk moment aan het woord was, en om reacties op de opname te kunnen verbinden met niet-hoorbare gebeurtenissen zoals het maken van een tekening of het bestuderen van een voorwerp. Bovendien kon door de observatie beter worden nagegaan in hoeverre het scenario werd uitgevoerd zoals bedoeld. Omdat bij het maken van tekeningen en het invullen van werkbladen het denkproces van de leerlingen niet waarneembaar was, is door mij in voorkomende gevallen via een korte vraag aan een groepje leerlingen nadere informatie verkregen over hun redenering of observatie. Deze vragen konden verschillende functies hebben. Soms beperkte de vraag zich tot het door de leerling laten expliciteren van wat op het papier stond. In gevallen waarin de leerling er niet zelfstandig uitkwam, is ook doorgevraagd over de aanpak van de leerling of is via vragen scaffolding geboden. Deze gesprekken werden ook opgenomen en uitgeschreven.

Werkbladen

De leerlingen kregen een mapje waaraan per les de werkbladen van de betreffende les konden worden toegevoegd. De werkbladen bestonden doorgaans uit varianten van de ontwerpersbril met hulpvragen, waarop de leerlingen al naar gelang de opdracht vorm, functie of relatie daartussen moesten beschrijven. De werkbladen zijn opgenomen in Bijlage 2. De werkbladen werden na de les verzameld.

Vragenlijst

In activiteit 6 en 12 van het scenario is een vragenlijst afgenomen (Figuur 5.1). De vragen hierin hadden enerzijds betrekking op de waardering van de lessen wat betreft het leereffect (vraag 1 - 5) en de activiteiten zelf (vraag 6 en 7), en anderzijds op de taligheid/bewustheid (vraag 8) en systematiek (vraag 9). Door tweemaal dezelfde vragenlijst af te nemen, halverwege en aan het eind, kon worden nagegaan of er veranderingen waren opgetreden in de metacognitie en in het oordeel van de leerlingen.

Nagesprekken met leerlingen

Na elke les zijn groepjes van drie leerlingen benaderd om na te praten over de les. Dit was bedoeld om na te gaan of zij onder woorden konden brengen wat zij hadden gedaan. Ook deze gesprekken zijn op de band vastgelegd en uitgeschreven. De gegevens van deze gesprekken zijn in de beschrijving van het verloop verwerkt.

Voor- en nabesprekingen met de leerkracht

Tussen twee lessen is steeds een uitvoerig gesprek met de leerkracht gehouden over het verloop van de afgelopen les en ter voorbereiding van de volgende les. Gerezen onduidelijkheden en problemen konden worden besproken. Bij deze gesprekken kwamen ook gegevens aan het licht die bepaalde reacties van leerlingen konden verklaren vanuit eerdere gebeurtenissen, achtergrond van individuele leerlingen en dergelijke. Ook zijn op grond van deze gesprekken soms bijstellingen verricht in de vorm van een ingelast klasgesprek, indien door een minder goed verlopen les de leerlingen een schakel dreigden te missen in het

Hoofdstuk 5 De toetsing van het scenario

leerproces. De gegevens van deze gesprekken zijn in de beschrijving van het verloop verwerkt.

	JA	EEN BEETJE	NEE	WEET NIET
1. Heb je door deze lessen dingen opgemerkt die je nog niet eerder waren opgevallen?				
2. Merk je door de lessen ook na school meer dingen op dan eerst?				
3. Begrijp je door de lessen beter hoe dingen in elkaar zitten?				
4. Heb je leren kijken door de ontwerpersbril?				
5. Is de ontwerpersbril nuttig voor jou?				

6. Wat vond je leuk aan deze lessen?

.....

.....

7. Wat vond je niet leuk aan deze lessen?

.....

.....

8. Stel dat je aan iemand moet uitleggen hoe je een voorwerp moet onderzoeken met de ontwerpersbril: wat zou je dan vertellen?

.....

.....

9. Zou je de volgende dingen wel of niet kunnen onderzoeken met deze bril? Kruis JA of Nee aan, en leg uit waarom.

	JA	NEE	WANT
Planten			
Stenen			
Vogelzang			
Fietsen			
Spelletjes			
Je ogen			

Figuur 5.1 Vragenlijst uit de activiteiten 6 en 12.

Napeiling

Bij één van de scholen is drie maanden na afloop van de lessenreeks een test afgenomen die bestond uit een analyse van twee nog niet behandelde objecten, de vraag wat zij zich herinnerden van twee behandelde objecten en de vraag of zij de ontwerpersbril nog wel eens gebruikten na de les (Figuur 5.2). Deze test was bedoeld om na te gaan in hoeverre de verworven inzichten stabiel waren. Door mijn vertrek naar het buitenland kort na de tweede onderzoeksronde, kon bij de overige twee scholen deze napeiling niet meer afgenomen worden.

Vraag 1.

Een tijdje geleden heb je gewerkt met de ontwerpersbril. Boven in die ontwerpersbril stonden steeds dezelfde vragen. Welke vragen waren dat?

.....
.....
.....

Vraag 2.

Je hebt toen een beetje leren kijken als een ontwerper. Heb je na die tijd nog wel eens op die manier naar dingen gekeken?

.....
.....

Vraag 3.

Heb je iets aan die lessen gehad?

.....

Vraag 4.

Je krijgt nu vier werkbladen van de ontwerpersbril. Twee moet je uit je hoofd invullen. Je doet dat met twee dingen die we al goed bekeken hebben, de wasknijper en de oogleden. De twee andere werkbladen zijn om nieuwe dingen mee te bekijken. Het ene ding is een CD-doosje, het andere een foto van een cactus.

Figuur 5.2 Vragenlijst uit de napeiling.

Hoofdstuk 5 De toetsing van het scenario

De relatie tussen de deelvragen en databronnen wordt aangegeven in Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Herkomst van data voor beantwoording van deelvragen van onderzoeksvraag 3.

deelvraag	1	2	3	4	5
1. Leert de leerling gedurende het onderwijsleerproces te redeneren van vorm naar functie en andersom?	x	x	x	x	x
2. Is het handelen met het vormfunctieperspectief wendbaar?	x	x			x
3. Is het handelen met het vormfunctieperspectief systematisch?	x	x	x	x	x
4. Is het handelen met het vormfunctieperspectief talig en bewust?	x		x	x	x

1. Protocollen van lesactiviteiten
2. Werkbladen
3. Vragenlijsten
4. Protocollen van nagesprekken
5. Napeiling na drie maanden

Bij het opzetten van de casestudies is gebruik gemaakt van de criteria die daarvoor zijn geformuleerd door Yin (1988). Zo is voor alle deelvragen gebruikt gemaakt van meerdere databronnen. Verder wordt gerapporteerd op basis van een databestand dat ook door derden te bestuderen en te controleren is. Eerst wordt het verloop namelijk volledig beschreven, terwijl voor de rapportage een selectie daaruit gemaakt wordt. Het derde door Yin genoemde criterium betreft de bewijsvoering, waarbij steeds duidelijk moet zijn op welke wijze de data de getrokken conclusies verbinden met de onderzoeksvragen. Hieraan is voldaan door in de conclusies specifiek te verwijzen naar de activiteiten en andere gegevens waarop de conclusies zijn gebaseerd.

5.2.4 Analyse van de data

De uitgeschreven bandopnames en de werkbladen zijn geanalyseerd door de uitingen van leerlingen en leerkracht te categoriseren volgens de leerdoelen uit Figuur 4.1. De bruikbaarheid van het categoriseringssysteem werd in de praktijk getoetst door de volgende vragen te beantwoorden:

- a. Kunnen alle uitspraken ondergebracht worden?
- b. Raken alle categorieën gevuld?
- c. Zijn de uitspraken binnen één categorie gelijksoortig?

Op basis van de eerste analyse zijn kleine bijstellingen verricht in de vorm van het splitsen of combineren van categorieën. Zo is besloten om een onderscheid te maken tussen het leggen van een vormfunctierelatie in de vorm van een vraag, of in de vorm van een antwoord (zie bijvoorbeeld leerdoel 3.1.a en 3.1.b). Deze uitingen waren eerst in één categorie

ondergebracht. Verder is de groepering van de leerdoelen tijdens het onderzoek aangepast. Voor het overige bleken de uitingen van leerlingen en leerkracht steeds goed te analyseren met het categoriseringsschema.

De werkwijze hierbij was als volgt. In de uitgeschreven protocollen werd als een analyse-eenheid elke uitspraak beschouwd die betrekking had op een vorm en/of functie. Deze uitspraken werden geïnterpreteerd en ondergebracht in één van de categorieën van Figuur 4.1. Bij de werkbladen waarin de ontwerpersbril moest worden ingevuld was dit wat ingewikkelder. Hierbij werden verwijspijlen van vorm naar functie gecategoriseerd als 3.1.b (aangeven waar een kenmerk voor dient) en van functie naar vorm als 3.2.b (een oplossing zoeken die bij een functie past). Tekeningen of teksten in de linkerkolom van de ontwerpersbril werden geanalyseerd met de categorieën onder leerdoel 1 (kenmerken beschrijven als geheel met samenwerkende onderdelen) en/of leerdoel 2 (vormen beschrijven). Hierbij hing het vaak van de bijschriften af hoe deze uiting gecategoriseerd werd.

De vragenlijsten die in activiteit 6 en 12 zijn afgenomen, zijn als volgt geanalyseerd: de vragen waarbij de leerling alleen hoefde aan te kruisen zijn geturfd, en zowel per klas als over de twee klassen gezamenlijk omgerekend in percentages. Daarnaast is per leerling nagegaan of er een verschuiving in antwoorden was tussen de eerste en de tweede afname. Met behulp van de McNemartest (Siegel, 1956) is getoetst of er een significante positieve verschuiving te zien was tussen de eerste en tweede afname in de antwoorden op de eerste vijf vragen. De antwoorden op de open vragen zijn eerst onder elkaar gezet, en vervolgens gegroepeerd en geturfd. Ook hier zijn percentages berekend per klas en over de twee klassen gezamenlijk.

De betrouwbaarheid van de analyseprocedure is gecontroleerd door een tweede onderzoeker na instructie over de analysemethode een deel van het materiaal te laten analyseren en de interbeoordelaarsovereenstemming te bepalen. Deze kwam uit op 77 %.

De protocollen en ingevulde werkbladen vormden de belangrijkste databronnen die gebruikt werden om na te gaan in hoeverre, en met welke mate van zelfstandigheid, de leerlingen de leerdoelen bereikten. Daarbij waren de observaties, nagesprekjes met leerlingen en nagesprekken met de leerkracht ondersteunend bij de interpretatie van de uitingen van leerlingen.

5.2.5 De twee onderzoeksrondes

De proefversie van het scenario is geëvalueerd en gebruikt voor het schrijven van de versie zoals die in het huidige scenario is opgenomen. In Tabel 5.2 is aangegeven welke onderdelen zijn gewijzigd en gehandhaafd ten opzichte van de proefversie. De eerste en tweede ronde verschillen in de volgorde en inhoud van de eerste vier activiteiten. Bij de uitvoering van het eerste scenario bleek dat de oriëntatie-activiteit niet het gewenste effect had. Om aan dit probleem tegemoet te komen, is een meer verhalende oriëntatieactiviteit ontworpen en aangevuld met een demonstratie van de ontwerpersbril met eenvoudige en bekende voorwerpen zoals de paperclip en de wenkbrauw. Een eerste ervaring van leerlingen met de ontwerpersbril leek de beste oriëntatie op wat van de leerlingen werd verwacht. Een tweede probleem was dat de leerlingen veel moeite hadden met de middenkolom van de

Hoofdstuk 5 De toetsing van het scenario

ontwerpersbril. Dit probleem leek oplosbaar door een ontwerpactiviteit in te bouwen. De veronderstelling was dat als de leerlingen zelf zouden ontwerpen, de middenkolom op een natuurlijke wijze gevuld zou raken bij de bespreking van de ontwerpen, waarna ook voor andere ontwerpen de middenkolom beter zou functioneren om de ontwerpen te verklaren. Een tweede argument om een ontwerpactiviteit in te voegen was dat in het eerste deel van het scenario een activiteit ontbrak waarin van functie naar vorm werd gewerkt. Zo kon met de introductie van een ontwerpactiviteit een evenwicht worden geschapen met het tweede deel van het scenario, waarin ook een ontwerpactiviteit zit (het ontwerpen van een dier). Daardoor werd het mogelijk tweemaal een discussie over de gemaakte ontwerpen te houden. Gevolg van deze verandering was dat in het tweede scenario de leerlingen een andere ingang kregen voor het werken met het schema van de ontwerpersbril. In het eerste scenario startte dit met de klassikale behandeling van de wasknijper, daarna de zelfstandige analyse van een gegeven ontwerp, en tenslotte het zelf zoeken van een object. In het tweede scenario was de eerste introductie van de ontwerpersbril het bespreken van de paperclip en de wenkbrauw in de eerste activiteit (van vorm naar functie), daarna de ontwerpactiviteit (van functie naar vorm) en daarna de analyse van de wasknijper en het zelf zoeken van een object. Het eerste scenario gaf daarmee wel een duidelijker voorbeeld van de aanpak van cognitive apprenticeship dan het tweede scenario.

Waar de beide scenario's parallel liepen, zijn de ervaringen uit het eerste scenario betrokken bij de interpretatie van de uitvoering van het tweede scenario. Waar dat het geval is, is dat in de tekst steeds apart vermeld.

Tabel 5.2 Verschillen tussen het eerste en tweede scenario.

Activiteit	Eerste scenario	Tweede scenario
1.	Oriëntatie	Oriëntatie met bijgesteld voorbeeld Introductie van de ontwerpersbril
2.	Analyse van de wasknijper (modeling door leerkracht)	Ontwerpen (zelf ontwerpen van een oplossing voor gegeven probleem)
3.	Introductie van de ontwerpersbril (wasknijper invullen in schema)	Reflectie op ontwerpen (analyseren van de ontwerpen)
4.	Leren kijken met de ontwerpersbril (gegeven voorwerp analyseren)	Leren kijken met de ontwerpersbril (wasknijper als gegeven voorwerp)
5.	Zelf kijken met de ontwerpersbril (zelf voorwerp zoeken en analyseren)	Zelf kijken met de ontwerpersbril (zelf voorwerp zoeken en analyseren)

Vanaf activiteit 4 zijn de scenario's gelijk

5.3 Resultaten

In dit gedeelte zal per activiteit van de onderwijsleerstrategie aangegeven worden:
Het geplande leerproces per activiteit met de verantwoording: Hier wordt het betreffende gedeelte uit de onderwijsleerstrategie van paragraaf 4.5 herhaald.

Uitvoering: In hoeverre is de uitvoering van de activiteit verlopen zoals voorgeschreven?

Uitkomsten: Hoe is het onderwijsleerproces feitelijk verlopen, zijn handelingen uit het vormfunctieperspectief in een ontwerpdiscussie of in producten van leerlingen observeerbaar?

Conclusies: Welke conclusies kunnen uit het verloop getrokken worden die van belang zijn voor een herziening van het scenario of van de onderwijsleerstrategie?

5.3.1 Activiteit 1. Oriëntatie

Gepland leerproces	Verantwoording
<p>De leerling leert dat verschillende mensen in eenzelfde situatie vaak een verschillende manier van waarnemen hebben en daardoor verschillen in wat ze waarnemen. De leerling weet dat deze lessen gaan over een nieuwe manier van kijken.</p> <p>Aan de hand van de bespreking van een technisch voorbeeld (paperclip) en een biologisch voorbeeld (wenkbrauw) ondervindt de leerling dat je om het ontwerp van dit soort structuren te kunnen begrijpen, heen en weer moet denken tussen vorm en functie. Hierbij maakt de leerling kennis met het schema van de ontwerpersbril. De leerling tekent hierop eerst uit het hoofd een object en noteert later de werkelijke vorm en de functie daarvan.</p>	<p>De oriëntatie is van belang om de leerling erop te wijzen dat het leerresultaat van deze lessenserie van een andere orde is dan ze gewend zijn. Dit is echter pas duidelijk te maken door een ervaring daarmee. Daarom wordt de ontwerpersbril als kiem meteen geïntroduceerd, waarbij de leerlingen in eerste instantie uitgaan van de vorm van twee eenvoudige bekende objecten. Dit is gebaseerd op de criteria om van eenvoudig naar complex en van bekend naar onbekend te gaan. Het starten met de zichtbare vorm in plaats van met de onzichtbare functie heeft ook daarmee te maken. Wel wordt meteen het heen en weer denken gedemonstreerd, omdat dit de kiem van het vormfunctieperspectief is. De verwachting hierbij is dat de resultaten van de nieuwe manier van kijken zullen bijdragen aan de motivatie.</p>

Uitvoering

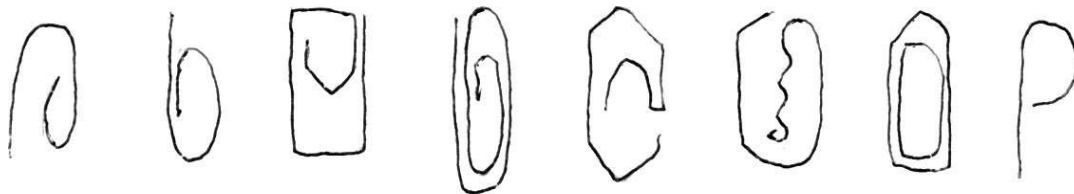
De activiteit wordt uitgevoerd volgens de handleiding. De leerkrachten hebben moeite met het onderdeel waarin de verschillende ontwerpen van de paperclip moeten worden besproken. In de handleiding voor de leerkracht zijn weliswaar enkele voorbeelden gegeven van vormfunctierelaties bij de paperclip, maar tevoren is niet te voorspellen met wat voor ontwerpen de leerlingen komen. Daardoor is niet tevoren aan te geven wat de voor- en nadelen van de diverse ontwerpen zijn. Doordat de leerkrachten nog ongeïntereerd zijn in dit soort vergelijkingen, komt het vergelijken van de paperclip-ontwerpen met de klas niet of langzaam op gang.

Hoofdstuk 5 De toetsing van het scenario

Uitkomsten

Het besef dat mensen verschillende manieren van waarnemen kunnen hebben, en daardoor verschillende dingen uit dezelfde omgeving kunnen waarnemen, blijkt als leerdoel moeilijker te bereiken dan voorspeld. In het eerste scenario was dit ook al een probleem, reden waarom in het tweede scenario hiervoor andere voorbeelden zijn gekozen. De leerlingen komen echter in geen van de scenario's tot verklaringen waarbij het verschil in waarneming verklaard wordt door training van een bepaalde manier van waarnemen. De leerkracht moet dit aspect inbrengen.

De paperclip blijkt een geschikt object om leerlingen stil te laten staan bij een ogenschijnlijk eenvoudig object. Er wordt veel gearzeld en gegumd, en er komen veel verschillende tekeningen op papier (Figuur 5.3).



Figuur 5.3 Tekeningen van paperclips in Activiteit 1.

Zoals bij de uitvoering al vermeld, lukt de bespreking minder goed. Leerlingen ervaren opmerkingen over hun tekening als kritiek, en willen vooral weten ‘of ze het goed hadden’. Het bespreken van de wenkbrauw lukt daarentegen heel goed, en daarbij komt ook een voorzichtige ontwerpdiscussie van de grond. Deze start met de vraag van de leerkracht waar de wenkbrauw eigenlijk voor dient (categorie 3.1.a). De meeste leerlingen noemen hier zaken als ‘boos kijken’. Een enkeling komt met de functie van ‘beschermen tegen zweet’. (categorie 3.1.b: aangeven waar een kenmerk voor dient). Via het bordschema van de ontwerpersbril wordt vervolgens het ‘heen-en-weer-denken’ geoefend. Dit proces wordt weergegeven in Figuur 5.4, waarin de nummers aangeven in welke volgorde de discussie verloopt. Protocol 5.1 geeft de discussie weer die in de klas plaatsvindt.

Hoe ziet het eruit	Waarom zo en niet anders	Waar dient het voor
1.tekening maken →	→	2.bespreken functie: om het zweet niet in de ogen te laten komen
↑	↙	
4.controle van de tekening ←	3.vraag: hoe moet het eruit zien voor deze functie	

Figuur 5.4 Verloop ontwerpdiscussie van de wenkbrauw.

De leerlingen hebben geen moeite met het gegeven dat in de linkerkolom van de ontwerpersbril onder ‘Hoe ziet het eruit?’ naast structuren ook bewegingen kunnen staan. Dit wordt duidelijk aan de hand van de bespreking van gelaatsuitdrukkingen waarbij niet alleen

de vorm, maar ook de *beweging* van de wenkbrauw een rol speelt. Eén leerling stelt voor om de beweging door middel van pijltjes in de tekening in de linkerkolom aan te geven.

Protocol 5.1 Montini 1.1.

Uitspraken	Categorie
(Op het bord staan wenkbrauwen met de haartjes omhoog)	
LK: Hebben we ze dan goed getekend? Denk je dat als het met zweet te maken heeft, denk je dat het dan lukt als het zo getekend is, dat het zweet dan tegengehouden wordt? Wat is er nu zo speciaal, voel maar aan je eigen wenkbrauwen, zo.....	4.2.a.
Timo: O ja, nou weet ik het! Als je voelt dan gaat het zo, naar je oor toe en dan gaat die langs je oog dus heen.	2.1.1./4.1.b.-1
LK: Het heeft dus een bepaalde vorm; en welke kant gaan de haren op. Voel maar! Ze staan allemaal (tekent haartjes op het bord) één kant uit. Als ze zo rechtop zouden staan...	2.1.1./4.2.a.
Willem: Je kunt het vergelijken met een glijbaan. Als je zo'n glijbaan hebt (zoals op bord de wenkbrauw met haartjes omhoog) dan kan je er niet vanaf glijden, als je zo'n glijbaan hebt (wijst haartjes in één richting) dan kan je er wel van af glijden.	4.1.b./6.2.1.
LK: Dus als het hierop komt dan glijdt het makkelijk weg.	4.1.b.
Rutger: En als het dan de andere kant op valt dan gaat het naar je neus.	4.1.b.

Montini 1.1. betekent: het eerste protocol van de eerste activiteit van het scenario op de Montinischool.

Met LK wordt de leerkracht aangeduid. De nummers zijn de categorieën uit het analyseschema.

2.1.1: ruimtelijke vorm benoemen

4.1.b: verklaren hoe iets werkt

4.1.b.1: verklaren hoe iets werkt via de ruimtelijke vorm

4.2.a: de vraag stellen "*waarom heeft kenmerk X vorm A en niet vorm A'?*" (type IV)

6.2.1: vorm-analogie hanteren

Conclusies

- In het scenario moet meer aandacht worden besteed aan de oriëntatie van de leerlingen op de leertaak. Er moet een andere manier worden gevonden om duidelijk te maken waar de ontwerpersbril over gaat en waarom het belangrijk is om anders te leren kijken. Tevens moet duidelijk worden dat het in dit leerproces gaat om situaties waarin veel oplossingen goed zijn, en niet om de (voor hen gangbare) situatie dat er maar één antwoord goed is.
- De leerkrachten moeten beter worden voorbereid op het leiden van een ontwerpdiscussie, met name op het bespreken van voor- en nadelen van verschillende ontwerpen.
- De paperclip en wenkbrauw zijn geschikte objecten voor een ontwerpdiscussie
- De leerlingen hebben geen moeite met het onderscheid tussen vorm ('Hoe ziet het eruit?') en functie ('Waar dient het voor?'), en evenmin met het gegeven dat ook processen in de kolom 'Hoe ziet het eruit?' kunnen worden vermeld.

5.3.2 Activiteit 2. Ontwerpen

Gepland leerproces	Verantwoording
Uitgaande van een gegeven probleem ('hoe voorkom je dat potloden van de tafel rollen') ontwerpen leerlingen in groepen oplossingen daarvoor. Daarna discussiëren zij klassikaal over elkaars oplossingen.	Nadat in activiteit 1 het denken gestart is van vorm naar functie (I) komt nu het denken van functie naar vorm aan bod via het ontwerpen (II). Door middel van de ontwerpdiscussie zullen ook verklaringen van vorm-functierelaties aan de orde komen (III,IV), waarbij de leerlingen hun denken expliciteren en de leerkracht hierbij deels voordoet (modeling) en deels ondersteunt (scaffolding).

Uitvoering

Deze activiteit is uitgevoerd zoals voorgeschreven.

Uitkomsten

Na de instructie om een oplossing te verzinnen voor het probleem dat potloden steeds van de tafel rollen gaan de leerlingen snel aan de slag. De meesten hebben meteen een idee, dat ze ook praktisch willen uitwerken. Op hun werkblad zet 90% van de leerlingen een tekeningetje in de kolom 'Hoe ziet het eruit?'. De helft van deze leerlingen zet er ook in woorden een aanduiding bij van wat de tekening voorstelt (cat. 2.1). Bij het uitwisselen van ideeën binnen het groepje luisteren de leerlingen naar de andere voorstellen. Zij noteren deze alternatieven op hun werkblad in de kolom 'Hoe ziet het eruit?'. Ze houden zich aan de regel dat ze eerst elkaars oplossingen moeten aanhoren voordat ze commentaar geven. Na de presentatie van ieders ideeën volgt de discussie over de voor- en nadelen van de verschillende oplossingen. In elk van beide klassen is één groepje geobserveerd. Eén van deze groepjes komt moeilijk tot een keuze. De groepsdiscussie heeft hier het karakter van een aanval en verdediging in plaats van een uitwisseling van ideeën. In het andere groepje wordt meer inhoudelijk ingegaan op elkaars oplossingen, vragen leerlingen elkaar om nadere toelichting en worden ook overeenkomsten tussen oplossingen geconstateerd (cat. 4.2.b). Eén van de ontwerpen wordt ter plekke uitgetest (cat. 6.1.1). Tenslotte hebben de meeste groepjes toch één ontwerp uitgekozen en wordt dit ook gemaakt. De leerlingen gaan hier enthousiast mee aan de slag, en stellen al doende soms hun voorstel bij (cat. 6.1.1). Hierbij vindt wel intensieve interactie plaats, die echter maar ten dele verbaal is: leerlingen verbeteren elkaar en vullen elkaar al handelend aan, terwijl er vaak niet veel meer woorden gebruikt worden als "nee, zo" of "andersom". Een enkel groepje maakt spontaan van plasticine een model van hun ontwerp omdat de werkelijke oplossing moeilijk door hun zelf te maken is (deze leerlingen blijken bij navraag de term 'model' niet te kennen). De oplossingen betreffen onder andere potloodhouders op de tafel, randjes of gootjes rond de tafel, een ijzerdraad over de tafel waar de potloden aan touwtjes mee verbonden zijn, en aanhangsels aan de potloden waardoor ze niet rollen.

Bij de presentatie blijkt dat de leerlingen ook heel goed in staat zijn om hun oplossingen, en ook hun commentaar op andere oplossingen, onder woorden te brengen. De

leerlingen verdedigen daarbij hun (groeps)voorstel fervent. Het commentaar is goed in te delen volgens het analyseschema (Protocol 5.2):

Protocol 5.2 Montini 2.1.

Uitspraken	Categorie
(Een groepje leerlingen heeft als oplossing een metalen draad over de bank gespannen, waaraan de potloden via een touwtje bevestigd zijn. Hierop komt commentaar van de medeleerlingen)	
LI 1: Als het potlood aan een touwtje zit kan je het niet uitlenen.	4.2.b.-2
LI 2: Zo'n randje is lastig als je boek ertegenaan komt.	4.2.b.-2
LI 3: Waarom is die draad over de bank van metaal en niet van touw?	4.1.a.
LI 4: (antwoord op vorige vraag) Zo kunnen de touwtjes over het metaaldraad <u>glijden</u> en kan je ermee over de hele bank.	4.1.b.-2
(Een ander groepje heeft een vierkante kartonnen koker bedacht om de potloden in op te bergen)	
LI 5: Een ronde vorm (van de potloodhouder) valt minder snel om dan een vierkante.	4.1.b.-1
<hr/>	
4.1.a: de vraag stellen 'Hoe/wardoor werkt X?' (type III)	
4.1.b.1: verklaren hoe iets werkt via de ruimtelijke vorm	
4.1.b.2: verklaren hoe iets werkt via het materiaal	
4.2.b.2: voor- en nadelen van alternatieven afwegen in relatie tot neveneffecten op andere functies	

Ondanks pogingen van de leerkracht om de leerlingen te stimuleren hun ontwerpen niet alleen te demonstreren, maar ook te beschrijven qua vorm, materiaal en constructie nemen de leerlingen dit niet over.

In het begin stuurt de leerkracht nog sterk en geeft soms zelf de antwoorden, maar gaandeweg gaan de leerlingen ook op elkaar reageren. Tevens blijkt de leerkracht een rol te hebben bij het *benoemen* van de oplossingen en werkwijzen van de leerlingen, door het introduceren en hanteren van termen als omhulsel, oplossing, nadeel etc.

Conclusies

- Leerlingen zijn in staat ontwerpen te testen, te vergelijken, te beoordelen en te beargumenteren, waarbij zij verschillende typen ontwerpverklaringen spontaan gebruiken (Protocol 5.2).
- De argumentaties van de leerlingen zijn onder te brengen in de categorieën van het vormfunctieperspectief (Figuur 4.1).
- De discussie binnen de groepjes is vaak weinig talig. De taligheid kan worden bevorderd door de presentatie van de ontwerpen en door het commentaar van de leerkracht.

5.3.3 Activiteit 3. Reflectie op ontwerpen

Gepland leerproces	Verantwoording
De leerling beschrijft de ruimtelijke vorm, het materiaal en de constructie van de oplossingen uit activiteit 2. De keuzen voor de betreffende vorm, materiaal en constructie worden beredeneerd. Tevens bespreken de leerlingen dat elke oplossing voor- en nadelen heeft in een bepaalde context.	De reflectie in deze activiteit maakt vanuit concrete ervaringen het keuzeproces van de ontwerper zichtbaar en expliciteert onder andere het compromiskarakter van elk ontwerp (IV).

Uitvoering

Deze activiteit is uitgevoerd zoals voorgeschreven.

Uitkomsten

Tijdens de toelichting van de leerkracht blijken veel leerlingen de aspecten vorm, materiaal en constructie niet los te kunnen maken van een gegeven ontwerp. Met name het punt dat aan een vorm ook eigenschappen kunnen worden verbonden, kost de leerlingen moeite. Op de vraag naar eigenschappen van bijvoorbeeld een vierkante vorm in een ontwerp komen veel leerlingen met *voorbeelden* van vierkante vormen in plaats van met eigenschappen. In Protocol 5.2 is te zien dat leerlingen in activiteit 2 wel zelf aangeven dat een vierkante vorm stabiel is dan een ronde. Het lukt dus kennelijk wel bij de toelichting op een eigen ontwerp, maar kan nog niet los gezien worden van deze context. De vragen over vorm, materiaal en constructie worden in activiteit 3 niet verbonden met de ontwerpen van activiteit 2, hoewel daar wel naar gevraagd wordt en deze ontwerpen ook allerlei concrete voorbeelden bieden. De leerlingen zijn bij deze opdracht niet erg betrokken, hetgeen zich uit in het ontbreken van discussie binnen de groep of bij de presentatie. De modeling door de leerkracht in activiteit 2 en de scaffolding door het werkblad zijn hierbij niet voldoende om de leerlingen er zelfstandig aan te laten werken. Op zich zijn categorieën als vorm en materiaal niet te moeilijk en leerlingen kunnen daar ook wel voorbeelden van genereren. Het probleem komt bij de volgende stap, als een vorm of materiaal als een te kiezen aspect van een ontwerp herkend en beoordeeld moet worden. Dit lukt wel bij de bespreking van de ontwerpen in activiteit 2, waar de leerlingen zelf met opmerkingen komen over de geschiktheid van het gekozen materiaal of ruimtelijke vorm. In de werkbladen in activiteit 3 staat echter niet het ontwerp centraal, maar een abstract aspect als “vorm”. Daarmee wordt een discussie op een hoger abstractieniveau gevraagd. Aan deze handeling zijn de meeste leerlingen niet toe en ze zijn er ook niet voor gemotiveerd. De tweede opdracht, waarbij de voor- en nadelen van de in activiteit 2 gemaakte ontwerpen moeten worden opgeschreven, kost de leerlingen veel minder moeite en ze zijn daar ook enthousiaster mee bezig (cat. 4.2.b)

Conclusies

- Het bespreken van ontwerpaspecten los van een ontwerp (*categorie 2.1 en 4.1.b*) is niet geschikt om een ontwerpdiscussie op gang te brengen. Deze aspecten kunnen wel aan de orde komen in de context van een discussie over de gehele ontwerpen.

- Bij het formuleren van vragen en opdrachten moet er rekening mee worden gehouden dat niet alle leerlingen begrippen als ‘voorbeeld’ en ‘eigenschap’ goed kunnen hanteren.

5.3.4 Activiteit 4. Leren kijken als een ontwerper

Gepland leerproces	Verantwoording
De leerlingen analyseren met behulp van de ontwerpersbril een gegeven voorwerp (wasknijper). Hierbij wordt deze eerst uit het hoofd getekend, daarna wordt de tekening vergeleken met het voorwerp en tenslotte wordt het ontwerp geanalyseerd met de ontwerpersbril.	De leerling krijgt een complexer object met onderdelen, zodat de vraag ‘Waar dient het voor?’ (I) op verschillende niveaus een rol speelt. De ontwerpersbril als kiem wordt hiermee uitgebreid door expliciet te werken met de middenkolom (III en IV). Hierbij speelt de heuristiek van ontwerpend leren een rol door steeds na te gaan wat er mis zou gaan als een onderdeel er niet zou zijn of anders zou zijn (counterfactuals). Bij dit alles is nog veel modeling door de leerkracht vereist.

Uitvoering

Deze activiteit is uitgevoerd zoals voorgeschreven.

Uitkomsten

Bij het individueel tekenen van de wasknijper doen zich dezelfde verschijnselen voor als in activiteit 1; veel gummen en denken, opnieuw proberen etc.

Bij het vervolgens uitwisselen in de groep wordt er vrij globaal vergeleken; het gaat er vooral om wiens tekening ‘het beste lijkt’. De leerlingen gebruiken elkaars tekeningen en commentaar niet om via een gezamenlijke discussie een beter product te maken. Nadat de leerlingen een wasknijper gekregen hebben, worden de tekeningen kort gecontroleerd, maar niet verbeterd. Er wordt niet gedetailleerd vergeleken welke onderdelen wel of niet aanwezig zijn (cat.2.1). De hulpvragen die op het werkblad staan en die deze vergelijking moeten stimuleren, worden weinig gebruikt.

Bij het invullen op het werkblad blijken sommige begrippen nog niet goed te functioneren bij de leerlingen. Het antwoord op de vraag naar de constructie (‘Hoe zit het in elkaar?’) is voor de meeste leerlingen niet onder woorden te brengen (cat. 2.1.3). Ook is er soms nog verwarring over de betekenis van ‘materialen’ en ‘onderdelen’, ook bij de leerkrachten. Termen als ‘een ijzertje’ die beide betekenissen in zich dragen werken mee aan deze verwarring. De middenkolom van het schema van de ontwerpersbril (‘Waarom zo en niet anders?’, cat. 4.1 en 4.2) levert meestal vage antwoorden op als “Anders doet hij het niet meer” in plaats van antwoorden zoals “Dit moet van ijzer zijn, omdat ijzer terugbuigt en hout niet”. Bij de klassikale bespreking wordt dit alsnog met hulp van de leerkrachten aangevuld door specifieke vragen als ‘Wat zou er anders zijn als deze rand recht in plaats van afgerond was?’ (cat.4.2.a) en ‘Waar zou deze holte hier voor dienen?’ (cat.3.1.a). De leerlingen komen uit zichzelf niet tot dit soort vragen.

Hoofdstuk 5 De toetsing van het scenario

De geringe respons bij deze activiteit was niet verwacht, omdat bij de uitvoering van het eerste scenario de wasknijper juist een succes was, zij het in een andere presentatie. Daar was de wasknijper de start van de lessenserie en leidde de leerkracht vanaf het begin de discussie. De verwachting was dat de leerlingen in het tweede scenario na de eerste drie activiteiten, waaronder een eigen ontwerpactiviteit, in staat zouden zijn om in de groepjes een heel eind te komen met de analyse van de wasknijper, en dat de leerkracht alleen aan het eind nodig zou zijn om de puntjes op de i te zetten. Deze verwachting is niet uitgekomen. Ook met de ondersteuning van het werkblad en de eerdere ervaringen komen de leerlingen niet tot een gedetailleerde waarneming en ontwerpdiscussie. Dat deze ontwerpdiscussie wel lukt in activiteit 2 en niet in deze activiteit kan te maken hebben met de volgende gegevens:

1. In activiteit 2 zijn de te bediscussiëren ontwerpen zichtbaar aanwezig, in activiteit 4 moeten de leerlingen eerst hun eigen tekeningen vergelijken (in veel tekeningen is nauwelijks iets van een wasknijper te herkennen) en krijgen ze daarna pas de wasknijper.
2. In activiteit 2 zijn de ontwerpen gelijkwaardige kandidaten voor een nog niet vervulde functie en heeft de discussie nog een wedstrijd karakter. In activiteit 4 gaat het om een bestaand ontwerp, en dient de vergelijking alleen om na te gaan in hoeverre de tekeningen verschillen van de echte wasknijper. Voor de leerlingen heeft het bespreken van een bestaand ontwerp mogelijk het karakter van het nakaarten over een gelopen race, waar de discussie niets meer uitmaakt voor het resultaat. Niet de vraag: 'Hoe werkt dat ding eigenlijk?' staat dan centraal, maar alleen de vraag 'Heb ik het goed getekend?'. Dat blijkt uit de reacties van de leerlingen, die aan de leerkracht vragen of ze het goed hebben getekend in plaats van hun tekening te vergelijken met de echte wasknijper die ze naderhand krijgen.

Dat de wasknijper wel een succes is in de eerste lessenreeks op De Heerd en niet in deze activiteit heeft waarschijnlijk te maken met het verschil in de wijze van uitlokken van het vormfunctiedenken. Protocol 5.3 geeft de klassikale discussie over de wasknijper op de Heerd. Het protocol maakt duidelijk dat de leerkracht in de proefserie weliswaar dezelfde categorie vragen stelt als de hulpvragen op het werkblad in de tweede serie, maar hierbij vaak al een specifieke invulling geeft, bijvoorbeeld: 'Wat zou er veranderen als dit stukje plat zou zijn in plaats van afgerond?'. Hierdoor wordt de probleemruimte voor de leerlingen overzichtelijker en de vraag uitnodigender dan alleen een schriftelijke vraag op het werkblad 'Wat zou er gebeuren als je de vorm verandert?'. De alternatieven die de leerkracht en vervolgens de leerlingen aandragen zijn reële alternatieven, d.w.z. alternatieven die het overwegen waard zijn omdat ze in bepaalde opzichten geschikter lijken dan het bestaande ontwerp (een hoekige top kan misschien de was beter vasthouden, een rechte top is makkelijker om te maken). Het verklaren van de werking van het bestaande ontwerp (vraagtype III) gaat dus deels via het afzetten van voor- en nadelen van het bestaande ontwerp tegen voor- en nadelen van plausibele alternatieven (vraagtype IV).

Een discours met de inhoud van vraagtype III of IV is dus wel mogelijk indien de alternatieven voor de bestaande vorm worden aangedragen. Leerlingen komen uit zichzelf niet tot dit soort alternatieven voor het bestaande ontwerp om er vervolgens over te discussiëren. Deze alternatieven werken alleen als ze plausibel zijn, bijvoorbeeld doordat ze eenvoudiger of goedkoper zouden zijn. Soms proberen leerlingen als reactie op de hulpvragen zelf alternatieven te formuleren. Deze alternatieven zijn echter in elk opzicht nadeliger dan

het bestaande ontwerp en lokken daardoor geen discours uit (“Als het van beton was, was het te zwaar.”).

Protocol 5.3 De Heerd 2.1.

Uitspraken	Categorie
LK: We kijken met zijn allen naar het bord, ik schrijf en we denken samen. We gaan die wasknijper heel goed bekijken, stukje voor stukje. Als we bovenaan beginnen, naar dit stukje, wat valt je hieraan op?	
Kay: Bochtig, met aan de bovenkant een beetje plat.	2.1.1.
LK: Waar zou dit stukje, onderdeel, nou voor dienen. Het is dus een beetje rond zoals Fanny zei, beetje afgerond., waar zou dit stukje nou voor dienen?	3.1.a/2.1.1.
Joris: Om het stevig vast te houden.	3.1.b.
LK: Dit hele stukje dat houdt dus de was vast, he, zeg jij. Dat is dus om de was vast te houden (trekt pijl van bovenkant tekening naar rechterkolom en noteert daar ‘vasthouden van was’)	3.1.b.
Nou is dit rondgemaakt, is dit eigenlijk de beste vorm ervoor? Was er geen andere manier geweest waarop je die was kon vasthouden?	4.2.a.
?: Je kunt ook plat, eh..	.
LK: Het had ook plat gekund vind je, zo? Was dat een betere vorm geweest? Wat vinden jullie?	4.2.a.
Anniek: Rond is beter want als het recht is zit alles tegen elkaar en dan.. (onverstaanbaar).	4.2.b.
LK: Je vindt als het recht is dan kan het niet zo goed vasthouden. Wie is het daarmee eens? Wat zou een nadeel kunnen zijn als het zo hoekig is en je wilt was ertussen stoppen?	4.2.b.
Minou: Dan droogt het niet zo goed.	4.2.b.
LK: Ja het ene plekje blijft dan een beetje nat.	
Pim: Dan gaat het niet goed open.	4.2.b.
LK: Als ik hierin knijp zeg jij, dan gaat het niet helemaal open als hij helemaal recht is. Je ziet dat deze wasknijper, die is een beetje hoekig, maar hij gaat wèl open. Als hij nou recht is...dan...	
Corine: Je kan hem makkelijk op het draadje zitten, je kunt hem er zo op steken.	4.2.b.
LK: Ja maar je dwaalt er een beetje van af, ik vraag dus van als die nou zo hoekig zou zijn dit stukje, zou dat nadeel hebben misschien, of voordeel?	4.2.a.
Martin: Als je de was er dan afhaalt kan het blijven haken	4.2.b..
LK: Als je het er dan af wil trekken en je hebt een beetje haast, trek je misschien de was kapot bedoel je?	
Martin: Ja.	
LK: En bij het erop zetten zou het ook een nadeel kunnen hebben?	4.2.a.
Tijmen: Het kan misschien een punt in krijgen omdat die punt zo scherp is	4.2.b.
LK: Ja, je bedoelt die kleding kun je dan misschien beschadigen. Wie is het daar niet mee eens en kan vertellen waarom?”	
Maartenlk had wel een andere opmerking, als die helemaal plat is dan is het moeilijker mikken, maar als die een beetje rond is dan kan je hem er zo insteken.	4.2.b.
<hr/>	
2.1.1: ruimtelijke vorm benoemen	
3.1.a: de vraag stellen ‘Waarvoor dient..’ (type I)	
3.1.b: aangeven waar een kenmerk voor dient	
4.2.a: de vraag stellen ‘Waarom heeft kenmerk X vorm A en niet vorm A?’ (type IV)	

Hoofdstuk 5 De toetsing van het scenario

4.2.b: voor- en nadelen van alternatieven afwegen.

Conclusies

- Daar leerlingen vaak nog niet over plausibele alternatieven (counterfactuals) beschikken, kunnen zij nog niet zelfstandig een ontwerpdiscussie over een gegeven object voeren. In eerste instantie moet de leerkracht de alternatieven presenteren of uitlokken.
- Het onderscheid tussen vraagtype III en IV vervaagt in de discussie.
- Hulpvragen op het werkblad zijn op zich niet voldoende om een ontwerpdiscussie te sturen.
- De begrippen ‘materiaal’ en ‘onderdeel’ worden vaak niet goed onderscheiden.

5.3.5 Activiteit 5. Zelf kijken met de ontwerpersbril

Gepland leerproces	Verantwoording
De leerlingen kiezen zelf een voorwerp in de klas uit om op dezelfde wijze te analyseren als de wasknijper. Zij presenteren het resultaat door middel van een poster waarop zij de ontwerpersbril voor het betreffende voorwerp invullen.	De leerlingen oefenen nu verder met het verklaren van een ontwerp (I, III, IV), waarbij de rol van de leerkracht overgaat in coaching en scaffolding. Scaffolding vindt ook plaats via hulpvragen op de werkbladen. Doordat het werk in groepjes plaatsvindt oefenen de leerlingen ook verder met het expliciteren van hun denken en handelen.

Uitvoering

De activiteit wordt voorafgegaan door een korte nabespreking van de wasknijper door de onderzoeker. Dit onderdeel is ingelast op grond van de ervaringen met en reflectie op activiteit 4. Het doel ervan is enerzijds om na te gaan of het presenteren van alternatieve ontwerpen de leerlingen wel stimuleert tot de gewenste discussie, anderzijds om de leerlingen alsnog de voorbereiding te geven op activiteit 5 die in activiteit 4 niet goed uit de verf is gekomen. In deze nabespreking wordt een aantal afwijkende wasknijpers op het bord gezet en wordt de leerlingen gevraagd de afwijkingen op te sporen en aan te geven waarom het echte ontwerp beter is dan deze counterfactuals. De leerlingen doen hier enthousiast aan mee en weten nu – in tegenstelling tot in activiteit 4 - snel de relaties te leggen tussen de onderdelen, materialen, vormen en functies. Hierna start activiteit 5, die verder wordt uitgevoerd volgens het scenario.

Uitkomsten

Op Montini duurt het lang voor de leerlingen het voorwerp van de tekening (een tafelpoot) hebben gevonden. Dat een tafelpoot en onderdelen ervan ook functies kunnen hebben komt er pas na lang praten uit. Op KWS durven de leerlingen niet zo snel hun bank uit en sommigen zijn onzeker over de opdracht. De leerkracht geeft hier tenslotte zelf de ontwerpaspecten van het voorwerp (een stoelonderdeel) aan. De leerlingen kiezen vervolgens in tweetallen vrij snel een voorwerp dat ze willen beschrijven. Het gaat merendeels om losse voorwerpen als een lineaal, potlood, nietmachine, spaarpot, afwasborstel, etc. Op KWS nemen de leerlingen echter dit voorwerp niet mee naar hun tafel en gaan er ook niet naar toe.

Eén groepje heeft zelfs een voorwerp gekozen dat niet in de klas aanwezig is. De leerlingen steken veel energie in het tekenen. Ook hier komen ontwerpdiscussies pas tot stand als de leerkracht of onderzoeker de leerlingen vragen stelt. De vragen van het werkblad zijn niet voldoende om de leerlingen zelf tot beter waarnemen aan te zetten. De vraag “waar is het van gemaakt” is bijvoorbeeld geen garantie dat de leerlingen zich gaan afvragen welke materialen gebruikt zijn en waarom, ook niet bij leerlingen die nauwgezet de antwoorden op de vragen van het werkblad invullen. Dit blijkt uit onderstaand gesprek van de onderzoeker met twee leerlingen.

Protocol 5.4 KWS 5.1.

DJB: En uit welk materiaal bestaat het?

Emmy: Hout

DJB: Heb jij ook hout? Alleen hout?

Hann.: Ja hier zit ook nog ijzer in, maar dat is haast niks dus....

DJB: Maar is dat niet belangrijk dan?

Hann.: Nou ik weet niet waarvoor dat belangrijk zou zijn.

DJB: Als ze zo'n lineaal maken en ze doen er zo'n randje metaal in, dan doen ze dat vast niet voor niks.

Hann.: Hier zit geen ijzer.....(wijst naar de zijkant)

DJB: Nee.....

In beide klassen is een groepje bezig met de analyse van een houten schoollineaal die aan de meetzijde afloopt, een metalen randje heeft, en een gat aan het uiteinde. In beide groepen worden wel nauwgezet de maatverdelingen overgetekend, maar worden andere vormen en materialen, zoals hierboven genoemd, niet vermeld. Bij navraag door de onderzoeker geven de leerlingen aan deze gegevens wel te hebben gezien, zonder erbij stil te staan. Dergelijke verschijnselen doen zich vaak voor. Bij een spijker wordt niet opgemerkt dat de kop ribbeltjes heeft en de punt ringetjes. Bij een kapstok worden de haken alleen van voren getekend waardoor het ontwerp onzichtbaar blijft.

Soms is het aanmoedigen van leerlingen al voldoende om het denkproces op gang te helpen. In onderstaand fragment van Montini hebben drie leerlingen uit groep 6 een potlood uitgekozen om uit te werken op de poster. De onderzoeker coacht de leerlingen.

Protocol 5.5 Montini 5.1.

(In de linkerkolom van hun poster staat het potlood getekend met ernaast o.a. de termen 'zeskantig' en 'langwerpig'.)

DJB: Probeer ook daar in ieder geval iets op te schrijven.

(wijst op de middenkolom)

Adr.: Waarom zo en niet anders.... Dat weet ik niet. Hij is zeskantig....

DJB: Juist, heel goed, dat is goed want dan zeg je iets over de vorm, en kun je ook zeggen waarom het goed is dat die zeskantig is?

Adr.: Uhm, betere greep.

DJB: OK, dat zet je nou hier in, ja?

Adr.: Ja.

Hoofdstuk 5 De toetsing van het scenario

DJB: Heel goed, heel goed, hier , naast zeskantig (wijst naar middenkolom) zet je 'betere greep'. Doordat ie zeskantig is houdt hij beter vast. Heel goed, dan kun je een lijntje hertussen zetten.

(leerlingen trekken lijn naar middenkolom en schrijven 'betere greep')

Geoff.: Langwerpig...

DJB: OK is het ook handig dat ie langwerpig is om hem vast te houden?

Geoff.: Ja.

DJB: Ja, als het zo'n klein potloodje zou zijn... dat is dus ook handig voor die betere greep.

(leerlingen trekken tweede lijn van langwerpig naar 'betere greep' in de middenkolom)

Hij is langwerpig en zeskantig en daardoor kan je hem beter vasthouden.

Maar er is nog iets wat het voordeel van zeskantig is, vergeleken met dit.

(laat ronde stift over het blad rollen)

Geoff.: Dan rolt ie weg.

DJB: Ja dus er zit nog een voordeel aan, heel goed.

(leerlingen schrijven 'dan rolt het potlood niet' in de middenkolom en trekken lijn van '6 kantig' naar deze plek).

Ook bij deze activiteit was de kwaliteit van de discussies en producten bij het eerste scenario (De Heerd) hoger dan bij het tweede scenario (Montini en KWS). Op de posters die de leerlingen van De Heerd maakten stonden veel meer verwijspijlen dan op de posters van de leerlingen van KWS en Montini. Het enthousiasme was op De Heerd ook groter, en de leerlingen raakten meer betrokken bij 'hun' voorwerp. Bij Montini en KWS was de betrokkenheid minder, wat ook te maken heeft met het gegeven dat veel leerlingen het voorwerp niet op of bij hun tafel hadden hoewel dit wel mogelijk was. Dat de proefschoon beter scoorde dan Montini en KWS is des te merkwaardiger, doordat deze activiteit op de proefschoon aan de orde kwam, zonder dat de leerlingen ervaring hadden opgedaan met ontwerpen.

Bij de groepjes die met de lineaal bezig zijn is het wel mogelijk via hulpvragen van de onderzoeker tot nader onderzoek van het voorwerp te komen, en kunnen de leerlingen de meeste vormfunctierelaties snel achterhalen. Ze lijken vervolgens wat verlegen met de situatie. Zij geven aan dat het gesprek, meer dan het tekenen zelf, ertoe leidt om de dingen beter te bekijken.

Protocol 5.6 Montini Nagesprek na activiteit 5.

DJB: We hebben er nu veel meer uitgehaald dan jullie hebben opgeschreven, of niet?

Davor: Ja...

DJB: Hoe komt dat, hebben jullie een idee hoe dat komt?

Rutger: Omdat je, als je erover praat, dan

Thijmn: Want daarnet hadden we niet echt heel veel tijd om eraan te denken.

Davor: We waren meer met die lineaal bezig.

DJB: Jullie geven de antwoorden, ik heb niets gezegd, dus het is niet zo dat ik jullie heb voorgezegd...

Thijmn: Als je echt moet werken dan denk je daar gewoon niet aan en als je ergens over praat dan komen er allerlei ideeën gewoon naar boven.

DJB: Dus erover praten werkt beter dan...

Thijmn: Ja..

DJB: Dus jullie waren nou heel druk met tekenen en zo.
Davor: Ja we waren meer bezig om het alles netjes te maken dan denken.

De leerlingen geven ook aan dat de ontwerpersbril hun nog geen resultaten heeft opgeleverd. Ook in dit fragment blijkt dat de leerlingen het problematiseren van voorwerpen door de leerkracht wel effectief vinden als middel om te leren kijken als een ontwerper.

Protocol 5.7 Montini Nagesprek na activiteit 5.

DJB: Heb je een beetje leren kijken door die ontwerpersbril?
Davor: Niet echt.
DJB: Niet echt.....
Davor: Nou..ik weet niet.....
DJB: Wat denk je dat ik daarmee bedoel met die vraag?
Rutger: Of we wat geleerd hebben.
Thijmn: Of het helpt.
Rutger: Ja, of je nu op een andere manier kijkt dan eerst, of je andere dingen opmerkt en zo...
DJB: Denk je dat als je nu thuis bent dat je nu andere dingen gaan opvallen?
Rutger: Nee, niet erg want we hebben het over een wasknijper gehad en wij dan over een liniaal.
DJB: Dus je denkt niet dat je dat ook op andere dingen kan toepassen? Dat als je straks een punaise krijgt, of
Rutger: Ja het kan wel, maar alleen...
DJB: Misschien moeten we dat uitproberen. Maar jij denkt dus van, we hebben de wasknijper gehad dus ik weet iets over de wasknijper, we hebben de liniaal gehad dus ik weet iets over de liniaal, maar je hebt nog niet het idee dat je daarmee iets geleerd heb dat je ook op allerlei dingen kunt toepassen? Hoe is dat bij jou?
Davor: Nou dat weet ik niet, maar ik heb er wel iets van geleerd van die wasknijper, daar let je niet zo op, en toen je erop ging letten bleek het heel anders te zijn. En nou ook dat rondje waar ik nog nooit... en nou ineens als je erover praat dan komt het in je op dat het misschien daardoor zou zijn....
DJB: Ja....
Davor: Als je er echt over gaat praten dan komen er wel wat meer dingen wat je denkt over een liniaal, meestal denk je gewoon dat is een meetding.....
Thijmn: Ja en dat rondje is gewoon voor de sier of zo.

Misschien dat de leerlingen in het fragment hierboven de verklaring geven voor het geringe effect van de werkbladen. Een liniaal is ‘gewoon een meetding’ en dus zijn alleen de streepjes van belang. De overige zaken waar geen functie voor te bedenken is, worden gewoon weggelaten, zelfs als ze wel zijn waargenomen. In dit verloop leidt het waarnemen van een vorm waar de leerling geen functie voor weet dus niet tot een vraag naar die functie! Het is in dit onderzoek niet voorgekomen dat een leerling uit zichzelf een vraag stelt naar de functie van een onderdeel. Steeds is het de leerkracht of onderzoeker die dit moet problematiseren.

Conclusies

- Werkbladen en hulpvragen blijken niet voldoende om leerlingen bij een gegeven voorwerp tot een ontwerpdiscussie te brengen. Ook ontwerpactiviteiten op zich dragen

Hoofdstuk 5 De toetsing van het scenario

nog niet voldoende bij aan het analyseren van objecten via het vorm-functieperspectief. Daarvoor blijft de input van de leerkracht of onderzoeker onontbeerlijk. Gerichtte modeling in het analyseren van voorwerpen (zoals in het eerste scenario) is waarschijnlijk nodig om leerlingen deze manier van kijken te leren.

- Deelfuncties toewijzen aan onderdelen is een vaardigheid waar leerlingen in getraind moeten worden.

5.3.6 Activiteit 6. Reflectie op de ontwerpersbril

Gepland leerproces	Verantwoording
De voorwerpen uit activiteit 5 worden vergeleken, en de leerlingen wordt gevraagd de ontwerpen te verklaren. De leerlingen gaan via een vragenlijst na wat ze van het vormfunctieperspectief kunnen zeggen	Via de vragen wordt o.a. gecontroleerd of de leerling weet waarop de ontwerpersbril wel en niet van toepassing is (systematiek), en of de leerling zich bewust is van een andere manier van kijken en dit onder woorden kan brengen (taligheid en bewustheid)

Uitvoering

Door tijdgebrek is deze activiteit beperkt gebleven tot de vragenlijst. Op Montini is deze aansluitend aan activiteit 5 ingevuld, op KWS 6 dagen na activiteit 5.

Uitkomsten

Vragen 6 en 7 uit de vragenlijst (zie Figuur 5.1) peilden de mening van de leerlingen over de lessen tot dusver. Het ontwerpen, maken en uitproberen scoorden het meest positief op beide scholen. Verder zijn er op Montini 8 leerlingen die specifiek het anders leren kijken en ontdekken noemen als positief punt. Bij KWS zijn dat er 2. Het oordeel van de leerlingen op KWS is wat negatiever, deels door een groepje van 5 jongens die eigenlijk nergens aan meedoen. Drie leerlingen op Montini noemen als positief punt de discussies en het nadenken over hoe alles in elkaar zit. Daarentegen vonden veel leerlingen de klassikale activiteiten zoals uitleggen en lange discussies niet leuk. Ook het gebruik van de werkbladen van de ontwerpersbril noemen enkele leerlingen in beide klassen als negatief.

De leerlingen geven merendeels nog voorzichtige reacties op de vragen naar hun leereffecten, de vragen 1 tot en met 5. Opvallend is dat de meerderheid al vindt dat ze hebben leren kijken door de ontwerpersbril, maar dat geen enkele leerling dit erg nuttig vindt. De leerlingen geven verder aan dat ze beter begrijpen hoe de dingen in elkaar zitten.

De leerlingen geven op de vraag de ontwerpersbril aan derden uit te leggen vooral antwoord door het noemen van de titels van de ontwerpersbril. Bij Montini geven 9 leerlingen dit weer in de vorm van een procedure van minstens twee stappen.

De meerderheid van de leerlingen vindt dat fietsen, bloemen, stenen en schedels verschijnselen zijn die met de ontwerpersbril zijn te bestuderen, en eveneens een meerderheid vindt dat op vogelzang en wolken de ontwerpersbril niet van toepassing is. Als criteria worden hierbij vooral genoemd of het uit onderdelen bestaat, of het een voorwerp is en of het eenvoudig te benaderen is (dus niet te ver, te klein of te moeilijk om te bestuderen).

Leerlingen hanteren hierbij niet één criterium voor alle verschijnselen, maar gebruiken per verschijnsel het criterium dat ze het beste van toepassing vinden.

5.3.7 Activiteit 7. Levende dingen leren bekijken als een ontwerper

Gepland leerproces	Verantwoording
Aan de hand van een verhaal leren de leerlingen welke functie oogleden hebben, en tevens dat voor dezelfde functie andere ontwerpen denkbaar zijn. Vervolgens vullen de leerlingen de ontwerpersbril in voor de oogleden. Hierbij gaat het om de combinatie van structuur (ooglid en wimper) en proces (beweging van de oogleden).	De wendbaarheid en systematiek van de ontwerpersbril wordt uitgebreid door de transfer naar biologische voorbeelden. De leerlingen leren dat je oogleden ook kunt zien als een ontwerp voor de oplossing van een probleem (II). Deze activiteit is equivalent aan activiteit 4; bij de analyse van het ooglid is de leerkracht nog veel bezig met modeling, vooral om de leerlingen via ontwerpend leren na te laten denken over counterfactuals (I, III, IV) ('Wat zou er gebeuren als je wimpers langer of korter zouden zijn?').

Uitvoering

Het uitwerken van het schema van de ontwerpersbril op het bord blijkt voor de leerkrachten nog een probleem te zijn. Het bordschema dat de discussie moet vastleggen en samenvatten, wordt daardoor niet erg duidelijk. Aspecten als onderdelen, materiaal en vorm lopen door elkaar, verwijspijlen ontbreken en vooral de middenkolom levert problemen op.

Uitkomsten

De leerlingen luisteren met aandacht naar het verhaal waarin het ooglid en wimpers 'ontworpen' worden als oplossing voor het uitdrogen op land (Protocol 5.8).

Protocol 5.8 Deel handleiding Activiteit 7.

DE WATERMENSEN

Lang geleden was de hele aarde bedekt met water. De mensen waren watermensen, en kwamen alleen boven om adem te halen. Ze hadden geen oogleden, zodat hun ogen altijd open waren, net als de ogen van vissen. Toen ging het water geleidelijk zakken; er kwamen droge stukken land. Al gauw droogden sommige zeeën en meren op, en de eerste mensen begonnen het land op te kruipen. Dat konden ze maar een minuutje volhouden, want al gauw voelden ze hun ogen enorm prikken en moesten ze weer het water in.

De leerkracht onderbreekt hier even en vraagt: "Hoe voelt dat? Dat kunnen we even uitproberen! Op mijn teken houden jullie allemaal een minuut lang je ogen wijd open zonder te knipperen, als het je lukt."
(de klas houdt nu een minuut lang de ogen open zonder te knipperen)

Hoofdstuk 5 De toetsing van het scenario

Een van de mensen was een ontwerper en die dacht: "Dat kan beter!". Zij/hij (de leerkracht kan hier het geslacht kiezen) gaf aan de mensen die het land op gingen een zakje water mee. Zo konden ze langer op het droge blijven en als hun ogen uitdroogden druppelden ze voorzichtig een beetje water in hun oog. Toch was het onhandig en de ontwerper dacht: "Dat kan beter!". Ze/hij maakte een leren lapje dat je op je oog kon dragen, met het zakje water daar aan vast. Er zat een gaatje in om door te kijken. Maar al gauw kwamen de mensen klagen. Je ogen droogden niet uit, dat was prima, maar je zag veel slechter door dat gaatje. "Kan je niet iets bedenken waardoor we onze ogen open kunnen houden, en ze toch af en toe natmaken?" vroegen ze. En de ontwerper gaf het toe: "Dat kan beter!". Hij/zij ontwierp nu twee lapjes die als gordijntjes open en dicht konden. Als het te droog werd veegde het lapje even over je oog en klaar was Kees. De mensen waren heel enthousiast over deze gordijntjes die ze 'oogleden' gingen noemen. Ze gebruikten ze ook tegen te felle zon; ze knepen dan de lapjes tegen elkaar tot er een spleetje overbleef. Toen gingen de mensen naar nog drogere stukken. Daar waaide het, en het zand stooft in het rond. Er kwamen korrels in de ogen, hoe de mensen ook hun oogleden dichtknepen. De ontwerper zag het aan en dacht: "dat kan beter!". Ze/hij maakte een soort netje dat de mensen voor hun ogen konden doen, en wat de zandkorrels tegenhield. Maar de mensen zeiden....

De leerkracht vervolgt: "Hier houdt het verhaal op! De rest is kwijtgeraakt. Probeer eens te bedenken hoe het verhaal zou aflopen."

Enkele leerlingen zijn bereid om het verhaal af te maken. De leerlingen komen er al snel op dat wimpers een goede oplossing zijn. De leerkracht vult aan dat deze oplossing voldoet aan twee tegenstrijdige voorwaarden (goed zicht versus beschermen tegen uitdrogen: cat.4.2.b.2). Oefeningen waarbij leerlingen hun ogen moeten openhouden zonder te knippen, of waarbij het knipogen wordt onderzocht, wekken interesse. De leerlingen zijn echter veel minder betrokken bij het uitwerken van de ervaringen in het schema van de ontwerpersbril, en moeten er regelmatig aan herinnerd worden om dit ook op hun eigen werkblad over te nemen. Dit wordt versterkt doordat de leerkracht zelf hier ook nog niet mee vertrouwd is. Met name de middenkolom, waarin leerlingen gevraagd wordt om na te denken over de vraag 'Waarom zo en niet anders?' is voor de leerlingen een moeilijke opgave. Mogelijk ligt dit aan het gegeven dat alternatieve ontwerpen die bij een ontwerpdiscussie als vergelijkingsmateriaal zouden kunnen dienen, hier ontbreken. De activiteit die door biologen en ontwerpers met plezier wordt gedaan, namelijk nagaan hoe perfect alles in elkaar zit, is voor de leerlingen wellicht alleen zinloos nakaarten over iets wat al vastligt. We zien hier hetzelfde verschijnsel als bij de wasknijper uit activiteit 4: zonder plausibele alternatieven waarvan de voor- en nadelen vergeleken kunnen worden met het bestaande ontwerp treedt geen ontwerpdiscussie op. De vraag is dan waardoor de ontwerpdiscussie over de wenkbrauw in activiteit 1 wel succesvol was, en die over het ooglid niet. Een mogelijke verklaring is dat de meeste leerlingen de functie van de wenkbrauw voorafgaand aan de discussie niet kennen, en dat de nieuwe kennis hen met nieuwe ogen naar het ontwerp laat kijken. Bij de oogleden weten de leerlingen de functie al, en dat organismen perfect zijn ontworpen lijkt hun vanzelfsprekend te zijn.

Conclusies

- Een ontwerpdiscussie komt moeilijk tot stand als er geen keuze is tussen verschillende ontwerpen.

- Leerlingen zijn in staat tegenstrijdige ontwerpeisen te onderkennen, maar dit levert niet automatisch stof voor een ontwerpdiscussie.
- Het schema van de ontwerpersbril is soms lastig te hanteren en niet altijd geschikt om een helder eindproduct op te leveren.

5.3.8 Activiteit 8. Zelf levende dingen bekijken

Gepland leerproces	Verantwoording
De leerlingen analyseren nu zelfstandig vorm-functierelaties van gekiemde bonen met behulp van de ontwerpersbril.	Deze activiteit is equivalent aan activiteit 5: de leerlingen oefenen nu zelfstandig met de ontwerpersbril waarbij de leerkracht als coach ondersteunt en hulpvragen op het werkblad scaffolding bieden.

Uitvoering

Deze activiteit is uitgevoerd zoals voorgeschreven.

Uitkomsten

Het werkblad met de richtvragen blijkt niet afdoende te zijn om de leerlingen de gekiemde bonen goed te laten observeren. Veel structuren aan de boon worden niet opgemerkt (cat.2.1.). Ook als ze de gekiemde boon openmaken ziet slechts een vijfde deel van de leerlingen de jonge blaadjes daarin. De zaadhuid die duidelijk loslaat, wordt slechts door een derde deel van de leerlingen opgemerkt als apart onderdeel. De vragen van de leerkracht of onderzoeker blijken vaak nodig om de leerlingen aan de gang te houden. Deze coaching blijkt effectief: de leerlingen raken door de vragen enthousiast en gaan dan zelf ook vragen stellen naar functies (cat.3.1.a, zie ook Protocol 5.8).

Het invullen van de rechterkolom van de ontwerpersbril (cat.5) wordt ook bemoeilijkt doordat de leerlingen de functie van de boon voornamelijk zien als voedsel voor de mens (door 76% van de leerlingen genoemd als functie) en slechts voor een klein deel ten dienste van de plant (door 9% van de leerlingen genoemd als functie). Misschien verklaart dat ook de geringe weergave van onderdelen: als een boon alleen wordt gezien als 'iets om op te eten' hebben de onderdelen ervan weinig te betekenen.

Een opvallend gegeven is verder dat veel leerlingen de bonen vies vinden, al is er geen sprake van verrotting of beschimmeling.

Dat hetzelfde schema dat eerst voor technische ontwerpen is gebruikt nu voor onderdelen van levende organismen wordt gebruikt roept verder geen reacties op.

Conclusies voor het scenario

- De hulpvragen en werkbladen blijken niet voldoende steun te bieden om de leerlingen onderdelen te laten opmerken en vragen op te roepen over de functies ervan. Dit lukt wel na input van de leerkracht of onderzoeker.
- Functies van levende organismen, en vooral van planten, worden vaak gezien als functies ten dienste van de mens.

5.3.9 Activiteit 9. De vier V's

Gepland leerproces	Verantwoording
De leerlingen leren dat elk organisme moet zorgen voor Voeding, Verdediging tegen vijanden, Verdediging tegen schade en Voortplanting. Dit wordt aangeduid als 'de vier V's'. Vervolgens oefenen de leerlingen met het sorteren van gegeven kenmerken onder de vier V's, en met het zoeken van kenmerken bij deze functies op foto's van planten en dieren.	Om ook bij levende organismen ontwerpredeneringen (II) te kunnen maken moeten de leerlingen eerst weten welke hoofdfuncties een organisme moet vervullen. Hiertoe worden de vier V's geïntroduceerd. De leerlingen leren hiermee zowel van vorm naar deze functie te werken (I) als vanuit deze functie naar een bijpassend kenmerk te zoeken (II).

Uitvoering

Deze activiteit is uitgevoerd zoals voorgeschreven.

Uitkomsten

De vraag naar mogelijke oorzaken van uitsterven leidt tot een lijst die door de leerkracht eenvoudig onder te brengen is onder de categorieën van de vier V's (cat. 5.1). In Tabel 5.3. zijn de oorzaken vermeld die door leerlingen zijn ingebracht.

Tabel 5.3 Door leerlingen genoemde oorzaken van uitsterven, geordend naar de vier V's.

Voeding	Verdediging tegen vijanden	tegen	Verdediging tegen schadelijk milieu	Voortplanting
Andere dieren eten hun voedsel op Verkeerd voedsel Te weinig water Te weinig voedsel	Andere dieren eten op Gejaagd worden	eten ze	Temperatuur anders IJstijd Ziektes Omgeving verandert Natuurrampen Leefomgeving droger	wordt Planten zich niet snel voort Te weinig jongen Weinig mannetjes of vrouwtjes Geen voedsel voor de jongen

Genoemde oorzaken die niet te plaatsen waren, hadden vaak te maken met verwarring tussen uitsterven enerzijds en verwante begrippen anderzijds zoals fossiliseren ('in teerputten vallen') en sterven ('te oud worden', 'zelfmoord').

Bij de volgende stap moeten de leerlingen vanuit foto's van respectievelijk een vos, een rups van de Jacobsvlinder, een schorpioenvis en een schijfcactus beredeneren op welke wijze deze organismen de vier V's realiseren (cat.3.2, vraag type III). Deze opdracht wordt eerst klassikaal gemodelleerd via de foto van de vos. Leerlingen blijken bij de dieren snel in staat om vanuit de vier V's te zoeken naar vormen op de foto (Protocol 5.9).

Protocol 5.9 Montini 9.1.

(bij de foto van de schorpioenvis)

DJB: Als je nu zou moeten raden hoe dit dier aan zijn voedsel komt, wat zou je dan zeggen?

Matty: Gewoon stil blijven zitten, en als er dan een visje voorbijkomt, dan.....(Hapbeweging)

DJB: En waarom denk je dat hij dat op die manier doet?

Joost:uhm, schutkleur

Veel leerlingen hebben moeite om ‘verdedigen tegen vijanden’ en ‘verdedigen tegen schadelijk milieu’ uit elkaar te houden. Dit ligt waarschijnlijk aan de onduidelijkheid van de term, want in Activiteit 11 kunnen ze goed voorbeelden bedenken als ‘verdedigen tegen schadelijk milieu’ wordt geherformuleerd als ‘beschermen tegen droogte, hitte en kou’. Ook planten zijn voor leerlingen moeilijker objecten dan dieren, doordat ze vaak niet over voldoende kennis over planten beschikken (Protocol 5.10)

Protocol 5.10 Montini 9.2.

(bij de foto van de cactus)

Lianne: verdedigen tegen opeten.....da's makkelijk! Stekels.

Sarah: Hoe verdedigt hij zich tegen schade.....nou ook door zijn stekels.

Lianne: Ja, dat vind ik ook.

DJB: Wat bedoel je met schade?

Sarah: Dat ie kapotgaat.

DJB: Ja, met schade bedoelen we dat het heel heet is of heel droog, cactus leeft in de woestijn.....

Lianne: Ja, ja, ik weet het, cactus zuigt altijd water op.

DJB: Maar ziet hij er net zo uit als de planten bij ons?

Lianne: Nee, onze zijn kleiner

DJB: Nou, niet allemaal.....

Vincent:Dirk Jan, maar brandnetels hebben ook geen stekels, maar ze doen je wel pijn

DJB: Hoe zorgt hij ervoor dat dat water niet meteen weer verdampft

Sarah: Door stekeltjes...

DJB: Helpen die stekels tegen verdamping?

.....

Leonie: Hoe heet dat, dat rode?

DJB: Wat denk je dat het zijn?

Leonie: Nieuwe plantjes?

DJB: Daar heeft een bloem gezeten, en nu zijn het vruchtjes. Maar waarom zijn die nu rood?

Esmee: Omdat die rood zijn..

Leonie: Het wordt een bloem..

Esmee: Het is toch al een bloem geweest?

DJB: Ja het is een bloem geweest.

Leonie: Omdat die dan afvalt.

DJB: En waarom zou die niet groen er af kunnen vallen? De plant is groen, dat rode valt erg op..

Esmee: Dan kunnen de beesten die het eten het goed zien

DJB: Jaaaaa!

Hoofdstuk 5 De toetsing van het scenario

Evenals bij de boon worden soms zaken die duidelijk te zien zijn niet vermeld. De rode kleur van de cactusvruchten wordt bijvoorbeeld vaak niet genoemd. De leerlingen blijken bij navraag ook geen functie te kunnen bedenken voor deze kleur, of associëren de kleur rood met ‘gevaar’. Ook de zwart-gele strepen van de Jacobsvlinder worden ofwel niet genoemd, ofwel aangeduid als ‘schutkleur’. Hoewel ze wel in staat zijn om vanuit de functie naar vormen te zoeken (cat. 3.2) leidt de opdracht er niet toe dat ze heen en weer gaan denken tussen vorm en functie (cat. 3.1 en 3.2) en nieuwe dingen opmerken in de foto. Leerlingen lijken naar de foto’s te kijken vanuit hun voorkennis (kleuren van dieren zijn schutkleuren, rood is gevaar) en raken niet snel aan het twijfelen als dit onlogische consequenties heeft (zwartgele strepen zijn dus een schutkleur, rode vruchten zijn dus gevaarlijk).

Bij de derde opdracht moeten de leerlingen gegeven structuren en processen zoals bloemen en winterslaap onderbrengen in één of meer van de vier V’s. Dit betreft dus een meer gesloten variant van handeling 3.1.b. De functie hoeft hierbij niet geformuleerd te worden, maar alleen gekozen uit de vier V’s. De leerlingen zijn bij deze opdracht goed betrokken, misschien mede doordat de opdracht hier helder en overzichtelijk is. De opdracht lukt de leerlingen vrij goed, al speelt ook hier weer een rol dat leerlingen onderdelen van vooral planten ten dienste van de mens beschouwen, waarbij de categorie ‘voeding’ dus niet gezien wordt als voeding voor de plant, maar voeding voor de mens. Hier speelt ook gewoon een tekort aan kennis een rol, want leerlingen blijken bij navraag gewoon niet te weten welke functie bladeren voor de plant hebben.

Conclusies

- Vanuit de vier V-functies kunnen leerlingen zelf bijpassende vormen zoeken. Dit blijft echter beperkt tot relaties die de leerling al kent. De opdracht op zich leidt niet tot een verdere verkenning of heen-en-weer-denken. Waarschijnlijk is hiervoor meer modeling nodig en het stimuleren van het vrijelijk formuleren van hypothesen.
- Opdrachten werken goed als ze in eerste instantie meer gesloten worden aangeboden, bijvoorbeeld door leerlingen te laten kiezen uit alternatieven in plaats van deze door de leerling te laten formuleren.

5.3.10 Activiteit 10. Ontwerpen van de natuur

Gepland leerproces	Verantwoording
Leerlingen krijgen verschillende voorbeelden van processen (vogelzang) en structuren (de bouw van schedels en vruchten). Ze formuleren ontwerpverklaringen voor de verschillen tussen deze kenmerken (IV).	Deze activiteit laat leerlingen meerdere ‘ontwerpen’ vergelijken, waarbij de vraag beantwoord moet worden hoe de verschillen daartussen te verklaren zijn (IV). Het compromis-karakter van elke oplossing komt daarbij weer om de hoek kijken.

Uitvoering

De klassikale discussies in deze activiteit zijn geleid door de onderzoeker in plaats van door de leerkracht. De reden hiervoor was dat de aard van de discussie complexer is doordat het gaat over ontwerpen die aan meerdere functies tegelijk moeten voldoen (het compromis-

karakter). In de voorbereiding van de leerkrachten was te weinig tijd om ze hier goed op voor te bereiden. Voor het overige is de uitvoering verlopen volgens het scenario.

Uitkomsten

In deze activiteit werd van de leerlingen heen-en-weer-denken gevraagd door ze te confronteren met verschillende structuren of processen met dezelfde functie. Hierbij was de opdracht om voor- en nadelen van de verschillende ontwerpen te vergelijken, en zo mogelijk te verklaren waardoor beide ontwerpen levensvatbaar kunnen zijn (cat. 2.1, 2.2, 4.1.b en 4.2.b).

De eerste activiteit betrof het luisteren naar verschillende vogelgeluiden. Daarna werd gevraagd wat de functie van vogelzang is, waarom de vogels verschillende geluiden hebben en wat een mogelijk nadeel zou kunnen zijn van vogelzang (zie werkblad 14 in Bijlage 2). Bij de eerste vraag blijkt ongeveer de helft van de leerlingen vogelzang te verbinden met voortplanting. Bij het verklaren van de verschillen in vogelzang gebruiken leerlingen vaak analogieën met menselijke stem of talen. Opvallend is dat een groep leerlingen als functie noemt dat we de vogels daardoor kunnen herkennen, weer een functie ten dienste van de mens dus. Het risico van zingen wordt door de meeste leerlingen wel onderkend, en daar gaat ook de laatste ‘ontwerpvrage’ over; de leerlingen moeten kiezen uit alternatieven welke alarmroep zij het meest geschikt zouden vinden: een lang of kort geluid, hoog of laag geluid, hard of zacht geluid, per soort verschillend of voor allen hetzelfde. De antwoorden op deze laatste vraag worden in een klassikale discussie besproken. Dit gaat goed, doordat er diverse antwoorden zijn en de leerlingen hun ‘ontwerp’ goed kunnen beargumenteren. Bij deze discussie lopen de verklaringen van type III (Hoe werkt het?) en type IV (Waarom zo en niet anders?) door elkaar en in elkaar over. Als voorbeeld hiervan worden twee uitspraken van leerlingen in de nabespreking naast elkaar gezet

“Hardere geluiden zijn door meer soortgenoten te horen.”

“Kort geluid, want bij langere geluiden kan een roofvogel de vogel toch vinden.”

Beide uitspraken kunnen vallen onder 4.1.b ‘verklaren hoe iets werkt’, maar ook onder 4.2.b ‘voor en nadelen van alternatieven afwegen’.

Ook bij de nabespreking komen analogieën met de mens naar voren. Een voorbeeld daarvan is de uitspraak *“Hoog, want als je schrikt ga je ook hoger praten”*. In dit geval gaat het overigens om een causale verklaring van de verschijningsvorm, en niet om een functionele verklaring.

Na deze discussie gaan de leerlingen in groepen door met de volgende opdrachten, waarbij ze respectievelijk verschillende schedels en verschillende zaden moeten vergelijken.

Bij de schedels van hond en haas is de eerste vraag om in de voorgedrukte tekening de stand van de oogkassen van hond en haas in te tekenen (zie werkblad 15 in Bijlage 2). De meerderheid lukt dit niet, en er zijn vrij veel leerlingen die het niet eens proberen. Dit is niet alleen het gevolg van het niet kunnen tekenen, maar vooral van het niet opmerken van het verschil. Ook in de volgende vragen geven veel leerlingen namelijk aan geen verschil in oogstand te zien. De leerlingen zitten in groepjes, maar er is geen sprake van een ontwerpdiscussie in de groepen. Vrijwel geen leerling is in staat te beredeneren hoe de stand van de ogen iets te maken kan hebben met het soort voedsel en met het soort vijanden.

De volgende opdracht betreft het vergelijken van de zaden van es, hulst en kastanje (zie werkblad 16 in Bijlage 2). De leerlingen moeten hier eerst de verschillen beschrijven en

Hoofdstuk 5 De toetsing van het scenario

gevolgen van deze verschillen voorspellen ten aanzien van voedselvoorraad voor het kiemplantje, bescherming tegen verrotting, en verspreiding. Ten slotte moeten ze voorspellen welke van de drie bomen volgens hen de meeste nakomelingen zal krijgen. De antwoorden worden weer gebruikt in een klassikale discussie. In deze discussie komen de argumenten waarmee leerlingen 'hun' boom verdedigen meestal neer op het benadrukken van één voordeel met veronachtzaming van de andere aspecten. Het 'compromis-karakter' van elke oplossing wordt door een enkele leerling herkend, bijvoorbeeld door aan te geven dat het produceren van één groot zaad vergelijkbaar is met het maken van veel kleine, en dat de kleine sneller vergaan, maar door hun aantal de kans op overleving vergroten (Protocol 5.11).

Protocol 5.11 Montini 10.1.

Mert:	(een trosje zaden van de es is) even groot als een appel en dat is misschien wel 200 van die dingetjes.
Ilja:	Kastanje en es hebben dezelfde kans, want die essen die redden het niet altijd, maar het zijn er wel meer dan de kastanjes.

De discussie verloopt goed en doordat de leerlingen tevoren een standpunt hebben bepaald, zijn ze betrokken bij het verloop.

Conclusies voor het scenario

- Ontwerpdiscussies lukken wel klassikaal onder leiding van de leerkracht, maar niet zelfstandig in groepjes.
- Leerlingen kunnen een ontwerpdiscussie voeren over biologische kenmerken indien verschillende oplossingen voor hetzelfde probleem naast elkaar worden aangeboden.
- Ontwerpdiscussies waarin meerdere functies met tegenstrijdige eisen een rol spelen, worden al snel complex doordat de leerling twee vormfunctierelaties tegelijk moet leggen.
- Leerlingen hanteren spontaan analogieën en gebruiken deze vaak direct als verklaring.

5.3.11 Activiteit 11. Zelf natuur ontwerpen

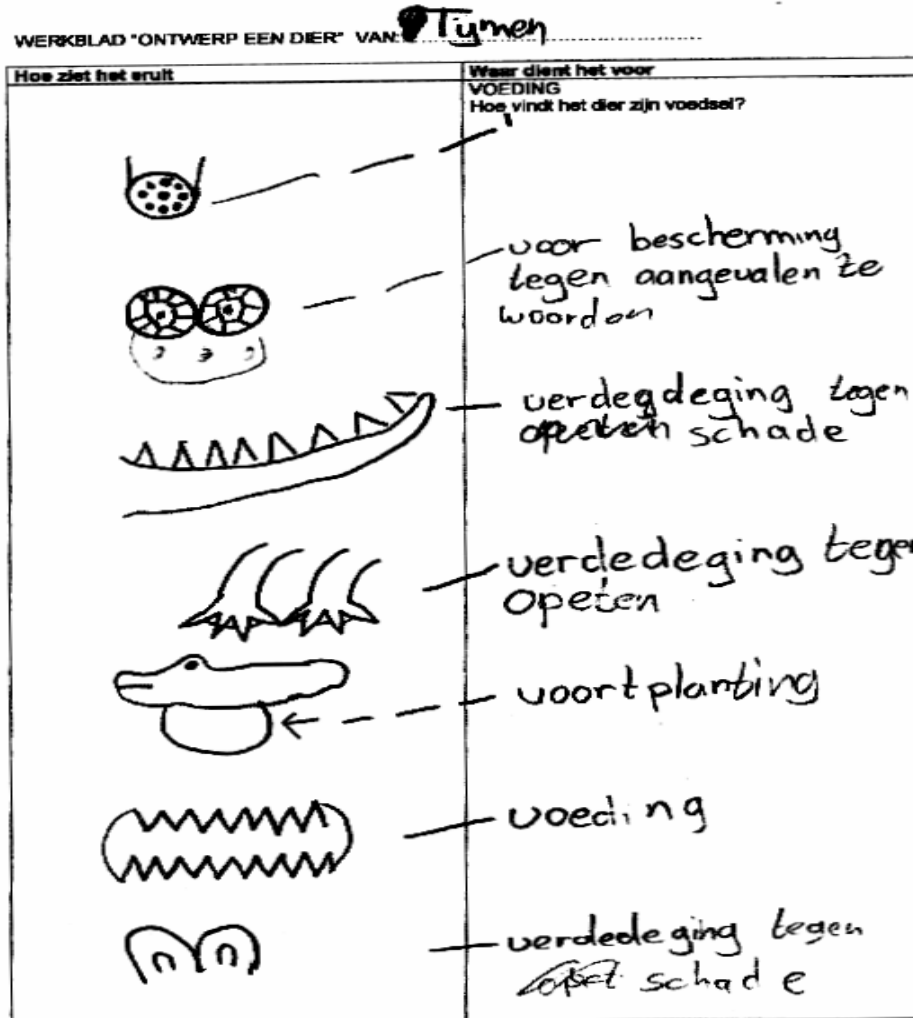
Gepland leerproces	Verantwoording
De leerlingen ontwerpen, uitgaande van gegeven omgevingscondities en van de vier V's, een dier dat kan overleven. De ontwerpen worden gerapporteerd en bediscussieerd.	Deze activiteit is equivalent aan activiteit 2; de leerlingen gaan dieren ontwerpen (II) waarbij zij oplossingen voor de vier V's moeten integreren in één ontwerp. Bij de daaropvolgende discussie over de ontwerpen moeten de leerlingen hun ontwerp verklaren (III, IV)

Uitvoering

Deze activiteit is uitgevoerd volgens het scenario. Werkblad 17 uit de bijlage geeft de opdracht weer zoals die aan de leerlingen is gegeven.

Uitkomsten

De opdracht om een dier te ontwerpen, uitgaande van omschreven omgevingscondities (cat.3.2.c) wordt door de meeste leerlingen individueel gedaan, ondanks de vraag om hierbij in tweetallen te werken. Daardoor is tijdens het ontwerpen ook nauwelijks een ontwerp-discussie waarneembaar. Deze ontstaat wel bij de presentatie. De leerlingen moeten bij het werken regelmatig herinnerd worden aan de omgevingscondities en aan de vier V's. Vooral de voortplanting wordt vaak weggelaten uit het ontwerp.



Figuur 5.5 Dierontwerp vanuit losse onderdelen.

Er zijn grofweg twee manieren waarop leerlingen de opdracht aanpakken. De ene groep begint te tekenen, en zorgt vervolgens dat het getekende dier aan de eisen voldoet door er wat bij te tekenen of te bedenken. De andere groep werkt vanuit losse onderdelen die vanuit de functies zijn ontworpen, en combineren deze daarna tot een geheel (Fig.5.5).

Leerlingen zijn in staat voor de vier V's in de omgevingscondities oplossingen te bedenken, al schrijven ze deze niet altijd op. Controle of de bedachte oplossingen wel bij

Hoofdstuk 5 De toetsing van het scenario

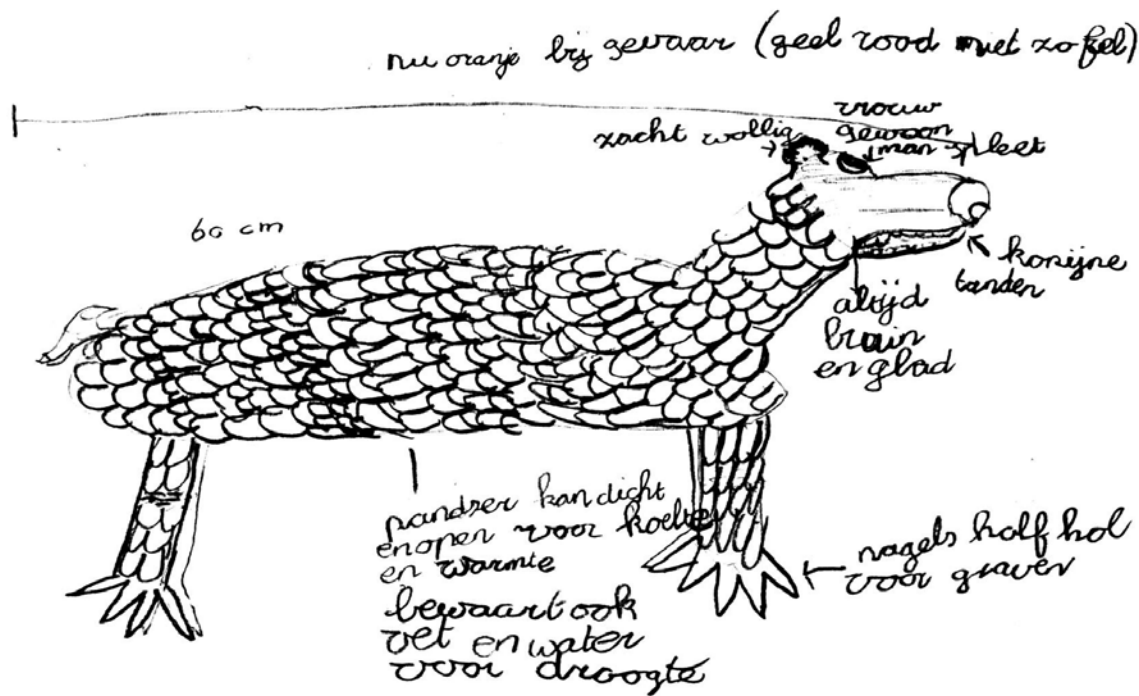
elkaar passen (cat. 4.2.b.3) vindt soms achteraf plaats. Een uiting hiervan is dat oplossingen die vanuit een bepaalde functie zijn ontworpen ook een rol krijgen voor een andere functie. Een voorbeeld hiervan zijn graafpoten voor voedsel die vervolgens ook een functie krijgen in de verdediging tegen vijanden. Een tweede uiting van controle op samenhang is het bijstellen van oplossingen, indien blijkt dat deze nadelig zijn voor andere functies (cat. 4.2.b.2). Voorbeelden hiervan zijn:

Probleem: Stekels als verdediging tegen vijanden kunnen de eieren beschadigen bij het broeden.

Oplossing: Het dier (vermoedelijk het vrouwtje) raakt in de broedtijd de buikstekels kwijt.

Probleem: Een zwaar schubbenpantser kan de warmteafgifte verstoren.

Oplossing: De schubben kunnen bij warm weer rechtop worden gezet zodat de wind erdoor kan. Figuur 5.6 geeft een voorbeeld van een ontwerp.



Figuur 5.6 Voorbeeld van een dierontwerp.

Bovenstaande voorbeelden geven aan dat in het denken van de individuele leerling er wel een 'interne ontwerpdiscussie' heeft plaatsgevonden.

Het aardige is dat leerlingen veel oplossingen bedenken die in hun ogen extravagant zijn, maar in de natuur al bestaan, zoals infraroodwaarneming en schieten met stinkende vloeistoffen. Leerlingen ontwerpen niet alleen structuren, maar ook processen zoals winterslaap, verharen en dergelijke.

De leerlingen zijn goed in staat elkaars ontwerpen te beoordelen en stellen daarbij vaak relevante vragen (zie Tabel 5.4.). Zelfs leerlingen die de ontwerpopdracht zelf niet serieus hebben genomen, nemen wel actief deel aan de discussie.

Tabel 5.4 Voorbeelden van vragen tijdens discussie over ontworpen dieren.

Uitspraken	Categorie
Hoe overleeft jouw dier de droogte?	3.2.a
Waar dient dat uitsteeksel voor?	3.1.a
Wordt je dier niet te zwaar met al die stekels en vetlagen?	4.2.a/4.2.b.2
Als je eieren met stank verdedigt zijn ze wel makkelijker te vinden	4.2.a/4.2.b.1
Zijn die vleugels niet te klein voor zo'n groot beest?	4.2.a/4.2.b.3
<hr/> 3.1.a: de vraag stellen 'Waarvoor dient...?' (type I) 3.2.a: aangeven waar een kenmerk voor dient 4.2.a: de vraag stellen 'Waarom heeft kenmerk X vorm A en niet vorm A''?' (type IV) 4.2.b.1: voor- en nadelen van alternatieven afwegen in relatie tot de vereisten van het leefmilieu 4.2.b.2: voor- en nadelen van alternatieven afwegen in relatie tot de neveneffecten op andere functies 4.2.b.3: voor- en nadelen van alternatieven afwegen in relatie tot het bij elkaar passen van deeloplossingen	

Conclusies

- Een ontwerpdracht waarbij een dier moet worden ontworpen binnen gegeven omgevingscondities kan veel verschillende oplossingen genereren die als materiaal voor een ontwerpdiscussie kunnen dienen. De ontwerpdiscussie ontstaat vooral bij de presentatie.
- Leerlingen houden niet uit zichzelf rekening met de omgevingscondities en de vier V's. De leerkracht moet daar regelmatig op wijzen.
- Leerlingen nemen zowel structuren als processen op in hun ontwerp.
- Leerlingen starten ofwel met het tekenen van een heel dier en passen dit geleidelijk aan, of tekenen eerst aanpassingen en combineren deze later tot een dier.
- De vier V's stimuleren het nadenken over tegenstrijdige eisen vanuit verschillende functies

5.3.12 Activiteit 12. Tweede reflectie op de ontwerpersbril

Gepland leerproces	Verantwoording
De leerlingen krijgen een quiz waarin ze hun vaardigheden kunnen demonstreren en krijgen de tweede vragenlijst over het vorm-functieperspectief, met grotendeels dezelfde vragen als in activiteit 6.	Via de vragen wordt o.a. gecontroleerd of de leerling weet waarop de ontwerpersbril wel en waarop deze niet van toepassing is (systematiek), en of de leerling zich bewust is van een andere manier van kijken en dit onder woorden kan brengen (taligheid en bewustheid)

Hoofdstuk 5 De toetsing van het scenario

Uitvoering

Van deze activiteit is door tijdgebrek alleen het afnemen van de vragenlijst uitgevoerd. De quiz over het vormfunctieperspectief is alleen op de proefschoon afgenomen.

Uitkomsten

De antwoorden op de vragenlijst (zie Figuur 5.1 voor de vragen) zijn vergeleken met die van de eerste afname in activiteit 6. Het zelf ontwerpen blijft het hoogst scoren in de positieve ervaringen. Bij Montini zijn er enkele leerlingen die expliciet aangeven dat ze ook de discussies en besprekingen een leuke activiteit vonden. Bij KWS neigen de antwoorden meer naar ‘alles of niets’. Bij de vraag wat de leerlingen niet leuk vonden (vraag 7) komt vaak voren dat de besprekingen lang duurden en de lessen zelf ook. Ook uit observaties en nagesprekken komt het beeld naar voren dat de ontwerpdiscussies door sommige leerlingen boeiend gevonden werden, maar door anderen juist saai.

Ruim 60% van de leerlingen geeft aan het eind van de lessenreeks aan dat ze door de lessen meer dingen hebben opgemerkt (vraag 1). Een significant deel van de leerlingen scoort hier positiever dan bij de eerste afname. Een positief effect op het waarnemen buiten de les (vraag 2) wordt door veel minder leerlingen genoemd. 55% van de leerlingen vindt dat ze nu ook meer begrijpen van de dingen om hen heen (vraag 3). Bij de vraag of de ontwerpersbril nuttig is voor de leerling (vraag 5) koos bij de eerste afname nog 40% voor ‘nee’ en 26% voor ‘weet niet’. Die percentages zijn bij de tweede afname significant positief verschoven, vooral naar ‘een beetje’.

De vraag hoe ze aan anderen zouden uitleggen hoe je met de ontwerpersbril iets onderzoekt, levert bij de tweede afname minder antwoorden op dan bij de eerste afname. Wel combineren sommige leerlingen hun uitspraken tot een soort procedure van twee of drie stappen, bijvoorbeeld “eerst tekenen, dan nagaan waar het voor dient en dan nagaan waarom zo en niet anders”. Met name bij Montini is dit voorgekomen, bij de eerste afname bij 9 leerlingen, bij de tweede afname bij 13 leerlingen. Het essentiële functie-element ‘waar het voor dient’ wordt echter slechts door een kwart van de leerlingen genoemd als onderdeel van de ontwerpersbril.

Bij de vraag welke verschijnselen met de ontwerpersbril zijn te bekijken, zijn de categorieën ‘bloemen’ en ‘vogelzang’ flink gestegen, wat te maken zal hebben met de behandeling van biologische onderwerpen in de tweede helft (zie Tabel 5.5). In overeenstemming daarmee is het criterium dat het een tastbaar voorwerp moet zijn om met de ontwerpersbril te bekijken, gedaald bij de tweede afname. Anderzijds heeft de tweede helft van de lessenreeks waarschijnlijk ertoe geleid dat nu het criterium ‘levend/bewegend’ is toegenomen. Het meest genoemde criterium is of er onderdelen of vormen aan waar te nemen zijn. Op grond daarvan vallen bijvoorbeeld stenen er buiten. Ook hier zien we dat het functiecriterium weinig genoemd wordt, al is er wel een kleine toename. Evenals bij de eerste afname hanteren de leerlingen niet een criterium voor alle verschijnselen, maar kiezen per verschijnsel een ander criterium.

Tabel 5.5 Absoluut en relatief aantal leerlingen, dat halverwege (N=61) en na de laatste les (N=58) aangeeft dat een verschijnsel met de ontwerpersbril te onderzoeken is, met de daarbij gehanteerde criteria.

		%		%
Verschijnsel				
Bloemen	36	59	47	81
Stenen	27	44	22	38
Vogelzang	18	30	40	69
Criteria				
Wel/geen onderdelen/vormen	17	28	21	36
Voorwerp/ding/materiaal	13	21	5	9
Te moeilijk, te ver, te klein	11	18	5	9
Onderzoekbaarheid algemeen	7	11	7	12
Aantrekkelijkheid (mooi, saai, vies etc)	6	10	8	14
Veranderbaarheid *	4	7	0	0
Wel/geen functie (waar dient het voor)	2	3	6	10
Wel/geen constructie	2	3	1	2
Wel/niet levend/bewegend	2	3	8	14
Dat hebben we gezien/gedaan	2	3	15	26
Geen criterium genoemd	14	23	9	16

*) Het criterium ‘veranderbaarheid’ wordt op twee manieren gebruikt:

-het kan op allerlei manieren (bijv. bloemen) en is dus niet met de ontwerpersbril te bekijken

-de vraag of het anders kan is eraan te stellen en dus is het wel met de ontwerpersbril te bekijken

29 % van de leerlingen wil nog een andere bril aanleren. 42 % zegt hier nee op, en 29 % kruist beide aan of weet het niet. Opvallend is dat drie leerlingen aangeven dat ze bang zijn dat een tweede bril het effect van de eerste bril teniet zal doen. Bij De Heerd wil 61% nog een andere bril aanleren. Ook hier zijn sommige leerlingen bang dat een tweede bril het leereffect van de eerste bril zal schaden.

Bij de overige vragen geven de antwoorden op De Heerd hetzelfde beeld te zien, al zijn de reacties over de hele linie wat positiever.

5.3.13 Napeiling

De napeiling is alleen op De Heerd afgenomen, en geeft dus het effect op langere termijn aan van het eerste scenario.

Een groot deel van de leerlingen weet nog de onderdelen van de ontwerpersbril te noemen, driekwart van de leerlingen herinnert zich ‘Waar dient het voor?’ als element. Iets minder dan de helft van de leerlingen geeft aan de ontwerpersbril in deze drie maanden nog wel eens gebruikt te hebben, waarbij sommige concrete voorbeelden noemen, zoals putdeksel, en bij het verschil tussen hond en kat. Dertien van de 33 leerlingen noemen als leereffect het op een andere manier naar de dingen kijken.

Bij de analyse van het CD-doesje blijken de meeste leerlingen nog goed te weten op welke manier het schema van de ontwerpersbril gebruikt moet worden, en zetten ze meerdere pijlen van vorm naar functie. Met de middenkolom kunnen de meeste leerlingen niet

Hoofdstuk 5 De toetsing van het scenario

overweg, maar dat was tijdens de lessen ook al zo. De analyse van de cactus levert veel minder resultaten op. De leerlingen leggen bijvoorbeeld geen relatie tussen de functie voortplanting (die op het werkblad gegeven was) en de vruchten die op de foto te zien zijn. Hier speelt waarschijnlijk weer het gebrek aan kennis over planten een rol, dat ook te zien was in activiteit 9 (5.3.9).

De antwoorden op de vragen over de wasknijper en de oogleden betroffen voorwerpen die in de lessenserie waren voorgekomen en die de leerlingen nu uit hun hoofd moesten tekenen en analyseren. De vermoeidheid speelde hierbij waarschijnlijk een rol, want van het eerste naar het vierde object neemt het aantal leerlingen dat niets meer invult toe. Degenen die wel het werkblad invullen, weten nog uit het hoofd gemiddeld 2 a 3 vorm-functierelaties weer te geven.

5.4 Resultaten van het scenario wat betreft de leerdoelen

Na het overzicht per activiteit kan nu per leerdoel (zie Figuur 4.1) worden nagegaan in hoeverre leerlingen de handelingen van dat leerdoel hebben verworven.

DE ONTWERPERSBRIL		
HOE ZIET HET ERUIT?	WAAROM ZO EN NIET ANDERS?	WAAR DIENT HET VOOR?
Leerdoel 1. Kenmerken van organismen en technische ontwerpen beschrijven als systeem Leerdoel 2. Vormen beschrijven van structuren en processen	Leerdoel 3. Relatie leggen tussen vorm en functie (vraag I en II) Leerdoel 4. Vorm-functierelaties verklaren (vraag III en IV) Leerdoel 6. Heuristieken hanteren	Leerdoel 5. Functies beschrijven

5.4.1 Leerdoelen 1,2 en 5: het beschrijven van kenmerken en functies

In gevallen waarbij de leerlingen zelf kenmerken moeten onderscheiden blijkt dat leerlingen zowel bij technische als bij biologische verschijnselen regelmatig kenmerken niet opmerken, met name indien de functie ervan bij hen onbekend is (zie activiteit 5, 8 en 9). Het leerdoel ‘aan een kenmerk onderdelen onderscheiden en benoemen’ (1.1) en daaraan gekoppeld ‘de vraag stellen ‘Waarvoor dient kenmerk X?’’ (3.1.a) blijkt dus moeilijker te zijn dan verwacht. Ook de leerdoelen ‘functies verdelen in deelfuncties’ (5.1) en ‘totaalfuncties en deel-functies aan elkaar relateren’ (5.2) blijken moeilijk te bereiken doordat de leerlingen functies van onderdelen nog niet goed kunnen onderscheiden van functies van het geheel. Scaffolding door middel van vragen op het werkblad helpt hierbij niet, dezelfde vragen gesteld door de leerkracht of onderzoeker helpen weer wel. Bij de uitvoering van het scenario blijkt dus dat de leerlingen voor deze categorieën niet zonder coaching kunnen.

Ten aanzien van het leerdoel ‘vormen beschrijven’(2) kan worden opgemerkt dat leerlingen geen problemen hebben om zowel structuren als processen te noemen als kenmerk

(activiteit 1 en 11). Een kenmerk als vogelzang wordt in eerste instantie niet gezien als iets waar je de ontwerpersbril op kunt toepassen, maar dat blijkt na de betreffende les daarover snel veranderd te zijn (zie tabel 5.5.c., vraag 9). De categorieën ruimtelijke vorm en materiaal (2.1.1 en 2.1.2) hanteren de leerlingen zonder moeite in het commentaar op elkaars ontwerp (activiteit.2). De categorie constructie heeft meer uitleg nodig voordat de leerlingen ermee kunnen werken.

Het bespreken van vormkenmerken los van een ontwerp is een activiteit die leerlingen niet aanspreekt (activiteit 3).

5.4.2 Leerdoel 3: relatie leggen tussen vorm en functie

Van vorm naar functie

Het scenario is zodanig opgesteld dat de leerlingen eerst van een gegeven kenmerk de functie moeten achterhalen (activiteiten 1, 4 en 7) en vervolgens zelf kenmerken moeten onderscheiden waar functies bij moeten worden gezocht (activiteiten 5 en 8). Het formuleren van functies van gegeven kenmerken en het aangeven van vorm, functie en verwijspijlen gaat goed zolang de functie bekend is. Indien leerlingen echter de functie niet weten, zijn ze niet in staat om hypothesen over de functie te formuleren. Hulpvragen op het werkblad die afgeleid zijn van de heuristiek van het ontwerpend leren zijn niet voldoende om de leerlingen tot een ontwerpdiscussie te brengen (activiteiten 4 en 8). Het formuleren van hypothesen over de functie lukt beter met coaching van leerkracht of onderzoeker, of indien het zoeken naar een mogelijke functie ingeperkt wordt door de keuze uit een aantal gegeven alternatieven (zoals de vier V's). Anderzijds blijken leerlingen die wel een functie denken te weten vaak weinig kritisch over hun opvattingen; een kleur heeft als functie schutkleur, ook al betreft het zwart-gele strepen. Er lijkt in hun redeneren geen ruimte te zijn tussen weten en niet-weten. Wat ze weten wordt niet ter discussie gesteld, en over wat ze niet weten, willen ze geen hypothesen formuleren.

Van functie naar vorm

In het scenario komt vraag II ('Welke oplossing is er voor functie Y?') in activiteit 2 en 11 voor als ontwerpvrage (leerdoel 3.2.c: een oplossing ontwerpen die bij functie Y past) en in activiteit 9 als zoekvraag (leerdoel 3.2.b: een bestaande oplossing zoeken die bij functie Y past). Het blijkt dat de leerlingen zonder voorgaande modeling in staat zijn om zowel technische oplossingen (activiteit.2) als biologische oplossingen (activiteit 11) te bedenken voor een gegeven probleem. Het zoeken vanuit gegeven functies (de vier V's) naar een bijpassend kenmerk op afbeeldingen van organismen lukt ten dele (activiteit 9). Ook hier blijkt weer de ontwerpdiscussie gestimuleerd te worden door leerlingen te laten kiezen uit alternatieven, in plaats van hen zelf een vorm bij een functie te laten bedenken. Doordat leerlingen dan moeten kiezen, bijvoorbeeld of een alarmroep van een vogel lang of kort moet zijn, raken ze betrokken bij deze keuze en willen ze deze ook verdedigen. Bij ontwerpdiscussies over de zelf ontworpen dieren blijken leerlingen spontaan met vragen van type II te komen, bijvoorbeeld door te vragen hoe in het ontwerp van het dier rekening is gehouden met de aanpassing aan droogte.

Hoofdstuk 5 De toetsing van het scenario

Het werken met heuristieken

De heuristiek van het ontwerpended leren (leerdoel 6.1) is ingebracht in de modeling in activiteiten 4 en 7, en verder als scaffolding door op de werkbladen expliciet de vraag te vermelden: ‘Wat zou er gebeuren als dit onderdeel er niet zou zijn?’. De leerlingen gebruiken deze vraag echter niet bij hun analyse. Als de leerkracht of onderzoeker dezelfde vraag stelt, lukt het de leerlingen vaak wel om een antwoord te formuleren. Waarschijnlijk zijn zij te onzeker over hun antwoord om het te durven opschrijven, mede doordat ze nog niet gewend zijn hypothesen te formuleren. De heuristiek van de analogie (leerdoel 6.2) is niet expliciet in het scenario ingebracht, maar fungeert af en toe spontaan als verklaring (activiteiten 1 en 10). Een analogie is voor de leerlingen dan afdoende als verklaring, en niet als een te toetsen hypothese. Bij beide besproken heuristieken speelt het hierboven beschreven verschijnsel dat er geen ruimte is tussen weten en niet weten; waar leerlingen geen antwoord weten durven zij geen hypothese te formuleren, en waar zij het antwoord denken te weten fungeert dit direct als vaststaande kennis.

Het werken met de ontwerpersbril

De leerlingen zijn merendeels in staat om relaties tussen vorm en functie in het schema van de ontwerpersbril aan te geven door middel van woorden en/of tekeningen, en verwijspijlen tussen de betreffende kolommen, zowel van vorm naar functie als van functie naar vorm.

5.4.3 Leerdoel 4: vorm-functierelaties verklaren

Waarom zo en niet anders

De leerdoelen 4.1. en 4.2. blijken in de praktijk in elkaar over te lopen. De vraag ‘Waarom zo en niet anders?’ komt namelijk zowel aan de orde als het gaat om het verklaren van de werking van één ontwerp (leerdoel 4.1) als bij het bespreken van alternatieve ontwerpen (leerdoel 4.2). Bij het verklaren van één ontwerp spelen ook alternatieve ontwerpen een rol. Dit zijn echter geen bestaande, zichtbare alternatieven, maar bedachte alternatieven (counterfactuals), die plausibel zijn omdat ze effectiever, efficiënter of veiliger lijken dan het bestaande ontwerp; bijvoorbeeld de vraag waarom de top van een wasknijper afgerond is. In het scenario komen beide typen ontwerpdiscussies voor. In de activiteiten 2, 10 en 11 had de ontwerpdiscussie betrekking op het vergelijken van verschillende ontwerpen. In de activiteiten 4,5, 7 en 8 betrof het de bespreking van één voorwerp of organisme. Het vergelijken van verschillende ontwerpen blijkt hierbij beter te gaan dan het bespreken van één ontwerp.

Vergelijken van verschillende ontwerpen

In activiteit 2 gaat de discussie om door de leerlingen ontworpen voorwerpen, in activiteit 10 om concreet aanwezige biologische structuren en in activiteit 11 om door de leerlingen op papier ontworpen dieren. Vooral de door de leerlingen gemaakte ontwerpen vormen goede stof voor een ontwerpdiscussie. De leerlingen blijken in staat om de alternatieve ontwerpen te vergelijken, te beoordelen en te verdedigen. De coaching door de leerkracht kan hier beperkt blijven tot het leiden van de discussie en het benoemen van de

oplossingen en werkwijzen van de leerlingen. Bij de dierontwerpen biedt het schema van de ontwerpersbril de leerlingen een scaffolding door middel van de invulling van de functiekolom met de vier V's, als richtlijnen waar het ontwerp aan moet voldoen. Voor sommige leerlingen is deze scaffolding voldoende om hun ontwerp aan te passen aan verschillende functies (activiteit 11). De vier V's zijn ook effectief in het leren toewijzen van functies aan gegeven biologische kenmerken. Het bespreken van gegeven alternatieve ontwerpen zoals verschillende typen zaden of vogelzang (activiteit 10) was moeilijker voor de leerlingen. Doorgaans blijft de inbreng van de leerling in deze discussies beperkt tot het vergelijken van de ontwerpen op één aspect. Coaching in de vorm van het wijzen op de noodzaak aan meerdere functies tegelijk te voldoen is nodig voor het begrijpen van het 'compromis-karakter' van elk ontwerp.

Verklaren van één ontwerp

In situaties waarin het gaat om één voorwerp of organisme dat ter discussie staat verloopt de ontwerpdiscussie veel moeilijker. Dit komt voor in activiteit 4 voor de wasknijper en activiteit 5 voor het zelf gekozen voorwerp, en in de activiteiten 7 en 8 voor de oogleden en de boon. Ten eerste blijkt hierbij dat het leggen van relaties van vorm naar functie (leerdoel 1.1 en 1.2) beperkt wordt doordat leerlingen veel zaken niet opmerken of niet problematiseren waardoor veel vorm-functierelaties niet worden opgespoord (zie 6.3.1.). Ten tweede functioneert de vraag 'Waarom zo en niet anders?' in deze situaties niet doordat de leerlingen zich geen plausibel alternatief kunnen voorstellen, met name bij de biologische voorbeelden. In deze gevallen komt een discussie vaak alleen van de grond indien de leerkracht zelf bepaalde zaken problematiseert, bijvoorbeeld door zelf plausibele alternatieven aan te dragen, door bewust foute tekeningen te laten corrigeren of door te vragen naar de functie van een bepaalde vorm. Soms is alleen het aanmoedigen van de leerling of helpen bij de formulering al voldoende steun om de leerling verder te helpen. De leerlingen zijn ook minder bereid tot een ontwerpdiscussie in deze activiteiten, zeker bij de biologische voorbeelden. Dit heeft waarschijnlijk te maken met het idee dat aan biologische ontwerpen toch niets te verbeteren valt, en dat het daardoor zinloos is erover te discussiëren. Leerlingen geven dit regelmatig aan met opmerkingen als 'hij kan toch niet beter worden' of 'het kan toch niet anders'.

Het werken met de ontwerpersbril

Leerlingen en leerkrachten hebben moeite met het invullen van de middenkolom, waar de ontwerpdiscussie in feite in moet worden samengevat. Ook voor mijzelf werd pas uit de ervaringen met het eerste scenario duidelijk dat hier twee verschillende soorten verklaringen een rol spelen, namelijk de vraag naar 'Hoe werkt het?' (type III), en de vraag 'Waarom heeft kenmerk X vorm A en niet vorm A''?' (type IV). Als het gaat om het vergelijken van meerdere ontwerpen kan de laatste vraag ook geformuleerd worden als 'waarom zijn niet alle oplossingen hetzelfde?', en ligt de verklaring doorgaans in het compromis tussen eisen vanuit meerdere functies. Als het gaat om het verklaren van één ontwerp is de vraag 'Hoe werkt het?' heel moeilijk te scheiden van de vraag 'Waarom heeft kenmerk X vorm A en niet vorm A''?'.
.

5.4.4 Het heen en weer denken

Uiteindelijk is het doel van het verwerven van het vormfunctieperspectief dat leerlingen door heen en weer te denken tussen vorm en functie nieuwe vragen formuleren en nieuwe kennis verwerven. Het blijkt dat de leerlingen nog niet in staat zijn dit zelfstandig te doen. Wel blijkt op sommige momenten in klassikale discussies het heen-en-weer-denken zichtbaar te worden, zelfs al in activiteit 1. Daarbij zijn vier typen te onderscheiden (Figuur 5.8 tot en met 5.11). Eerst worden de types beschreven, vervolgens wordt er een voorbeeld van gegeven.

a. 'De Rudwick-check'

Hoe ziet het eruit?	Waarom zo en niet anders?	Waar dient het voor?
1. Teken/beschrijf vorm	2. Waar zou dit onderdeel voor dienen? (I)	3. Mogelijke functies genereren
5. Vergelijken met vorm	4. ontwerpeisen formuleren	

Beschrijving: Bij het bespreken van de vorm van een kenmerk vanuit de veronderstelde functie preciezer gaan kijken of de vorm past bij de veronderstelde functie. Deze heuristiek komt overeen met die van Rudwick, zoals beschreven in 2.2.

Voorbeeld:

Het gesprek over de wenkbrauw in activiteit 1 (Protocol 5.1)

b. 'De Counterfactual'

Hoe ziet het eruit?	Waarom zo en niet anders?	Waar dient het voor?
1. Teken/beschrijf vorm	2. de vraag stellen: 'Waarom zo en niet anders (IV)?'	3. Mogelijke functies genereren van bestaande vorm
4. Vorm controleren		

Beschrijving: Bij het bespreken van een kenmerk met deels bekende functie, vanuit counterfactuals redeneren over de relatie tussen vorm en functie. Het verschil met het vorige type is dat daarin direct naar een hypothese over de functie wordt gegaan, zonder gebruik te maken van counterfactuals. Bij dit tweede type is de functie vaak al min of meer bekend en komt de vraag op of het niet eenvoudiger of efficiënter kan.

Voorbeeld:

De behandeling van de wasknijper in het eerste scenario (Protocol 5.3)

Een tweede voorbeeld is onderstaand nagesprek over de boon (Protocol 5.12). Opvallend is dat in de les zelf de leerlingen nauwelijks geïnteresseerd raakten in de bonen, maar dat dit nagesprek ertoe leidt dat een leerling zelf de boon er nog even bij gaat halen.

Protocol 5.12 Montini; nagesprek na activiteit 8.

DJB: Laten we eens naar die boon kijken of we die kunnen verbeteren. Eerst klein en hard, daarna veel groter en zachter. Waarom zit die niet al groot en zacht aan de plant?
 Joost: Dan is die makkelijk op te eten door de vogels
 Rosan: Ik denk dat die dan eerder wordt beschimmeld
 Rutger: Ja en als die aan die plant zit gaat die opeens ook al een plant maken
 Joost: Ja of als die er af valt dan flikkert het meteen uit elkaar
 Rutger: Ik denk dat het vliesje er toch ook voor is dat als het valt, het niet helemaal uit elkaar valt. Zal ik nog even een boon pakken om het beter te kunnen zien?

c. 'De Afweging'

Hoe ziet het eruit?	Waarom zo en niet anders?	Waar dient het voor?
Vorm A. Vorm B.	1. Welke is de beste oplossing voor functie Y: vorm A of vorm B? (IV) 3. voor- en nadelen vorm A en B afwegen ten aanzien van deelfuncties Y1 en Y2	Functie Y 2. deelfuncties Y1 en Y2 onderscheiden

Beschrijving: Bij het vergelijken van meerdere ontwerpen voor dezelfde functie voor- en nadelen afwegen.

Voorbeeld:

Deze vorm kwam voor bij de bespreking van de zaden in activiteit 10 (Protocol 5.9).

d. 'De Bijstelling'

Hoe ziet het eruit?	Waarom zo en niet anders?	Waar dient het voor?
3. Ontworpen kenmerk met vorm A. 6. Vorm A. aanpassen zodat deze ook bij functie Z past.	2. Vorm ontwerpen bij functie Y (II) 5. Checken of vorm a ook past bij functie Z.	1. Functie Y 4. Functie Z.

Beschrijving: Bij het zelf ontwerpen rekening houden met meerdere functies

Voorbeeld: Deze vorm is in activiteit 11 zichtbaar in het aanpassen van de dierontwerpen, zodat de deeloplossingen aan meerdere functies tegelijk voldoen.

Het heen-en-weer-denken bij deze voorbeelden is te vergelijken met de in hoofdstuk 2.2.4 besproken heuristieken, zoals de Rudwick-heuristiek. Verder is zichtbaar dat bij de meeste heen-en-weer-denkprocessen de leerkracht nog een sterk sturende rol heeft.

5.4.5 De mate van zelfstandigheid

Het toetsen van het scenario heeft zicht gegeven op het realistisch gehalte van de leerdoelen. Wat kunnen leerlingen al zonder meer en wat is haalbaar met welke mate van ondersteuning? Per afzonderlijk leerdoel is achteraf aan te geven in hoeverre leerlingen deze tijdens het scenario zelfstandig kunnen uitvoeren (Tabel 5.6). Hierbij is ‘zelfstandig’ aangegeven indien leerlingen zonder verdere hulp deze handeling op de juiste wijze blijken te verrichten, en ‘met coaching’ indien ook na modeling en ondersteund door hulpvragen de leerling de handeling alleen kan verrichten in intensieve interactie met de leerkracht of de onderzoeker.

Hierbij moet worden aangetekend dat de beginsituatie van de leerlingen hierbij niet bekend is, en dat dus niet te bepalen is in hoeverre het scenario de gewenste handelingen heeft bijgebracht, of alleen bestaande vaardigheden aan het licht heeft gebracht. In sommige gevallen zoals bij het hanteren van analogieën, bleken de leerlingen spontaan te komen met bepaalde handelingen.

Tabel 5.6 De mate van zelfstandigheid bij de uitvoering van activiteiten per leerdoel.

Leerdoelen ten aanzien van het vormfunctieperspectief	Mate van gebleken zelfstandigheid	toelichting
1. Kenmerken beschrijven als systeem		
1.1 aan een kenmerk onderdelen onderscheiden en benoemen	Met coaching	
1.2 aangeven waar een kenmerk onderdeel van is	Niet expliciet aan de orde geweest	
2. Vormen beschrijven		
2.1 structuren beschrijven 2.1.1 ruimtelijke vorm benoemen 2.1.2 materiaal benoemen 2.1.3 constructie benoemen	Zelfstandig/met coaching Zelfstandig/met coaching Met coaching	2.1 Zelfstandig voor wat betreft de eigen ontwerpen, met coaching ook voor gegeven ontwerpen
2.2 processen beschrijven (zoals gebruik van technisch object en diergedrag)	Zelfstandig/met coaching	

3. Relatie leggen tussen kenmerk en functie		
3.1.a de vraag stellen 'Waarvoor dient' (type I) 3.1.b aangeven waar een kenmerk voor dient	Met coaching Zelfstandig/met coaching	3.1.b Zelfstandig indien functie bekend, met coaching indien functie onbekend
3.2.a de vraag stellen 'Welke oplossing is er voor functie Y?' (type II)	Zelfstandig	3.2.a Bij bespreking ontwerpen
3.2.b een bestaande oplossing zoeken die bij functie Y past	Met scaffolding	3.2.b Via keuze uit gegeven alternatieven
3.2.c een oplossing ontwerpen die bij functie Y past	Zelfstandig	
4. Vorm-functierelaties verklaren		
4.1.a de vraag stellen 'Hoe/waardoor werkt X?' (type III)	Zelfstandig	4.1.a Bij het bespreken van elkaars ontwerpen
4.1.b verklaren hoe iets werkt via het effect van 1 de ruimtelijke vorm 2 het materiaal 3 de constructie 4 het proces	Zelfstandig/met coaching	4.1.b Zelfstandig voor wat betreft de eigen ontwerpen, met coaching ook van gegeven ontwerpen
4.2.a de vraag stellen 'Waarom heeft kenmerk X vorm A en niet vorm A'?' (type IV)	Zelfstandig	4.2.a Bij het bespreken van elkaars ontwerpen
4.2.b voor- en nadelen van alternatieven afwegen in relatie tot 1 de vereisten van de gebruikssituatie/het leefmilieu 2 de neveneffecten op andere functies (het compromis-karakter) 3 het bij elkaar passen van deeloplossingen	Zelfstandig/met coaching	4.2.b Zelfstandig voor wat betreft de eigen ontwerpen, met coaching ook van gegeven ontwerpen
5. Functies beschrijven		
5.1 totaal- en deelfuncties aan elkaar relateren	Met scaffolding	5.1 Via de vier V's
5.2 functies specificeren naar de gebruikssituatie (o.a. ontwerpeisen formuleren)	Met scaffolding	5.2 Via de vier V's en gegeven omgevingscondities
6. Heuristische hanteren		
6.1 nagaan wat er verandert bij wijziging/afwezigheid van een kenmerk 6.1.1 'aanrommelen' 6.1.2 voorspellen van veranderingen	Met coaching	
6.2 analogieën hanteren 6.2.1 vorm-analogieën 6.2.2 functie-analogieën	Zelfstandig	6.2 Analogie gehanteerd als bewijsvoering

Uit de gegevens van Tabel 5.6 kan worden geconcludeerd dat leerlingen voor eigen ontwerpen zelfstandiger de handelingen vertonen dan voor gegeven ontwerpen. Ook blijken

bepaalde onderdelen van het scenario zoals de vier V's en het aanbieden van meer gesloten keuzes effectief in het ondersteunen van de leerling.

5.5 Resultaten van het scenario wat betreft de metacognitie

In paragraaf 5.2.1 zijn in de deelvragen 3.2, 3.3 en 3.4 criteria geformuleerd ten aanzien van het begripmatig handelen. Via deze criteria wordt nu nagegaan of het scenario heeft geleid tot metacognitie over het vormfunctieperspectief.

5.5.1 Wendbaarheid

Hiervoor is als eerste criterium de vraag geformuleerd of de leerling in staat is na voorafgaande oefening met een gegeven object zelf objecten te vinden waarin vormfunctierelaties aanwezig zijn. Op De Heerd en Montini hebben de leerlingen in activiteit 5 zeer snel een object in de klas gevonden dat ze gaan uitwerken op de poster. Op de KWS hebben de leerlingen er wat meer moeite mee, en gaan ze ook niet de bank uit om iets te zoeken. Hier speelt waarschijnlijk mee dat de leerlingen op de KWS minder gewend zijn om zelf in de klas rond te lopen.

Het tweede criterium voor wendbaarheid is of leerlingen in staat zijn het vormfunctieperspectief vanuit de techniek te vertalen naar verschijnselen bij organismen. Het scenario bevat geen activiteiten waarin leerlingen zelf op zoek moeten naar verschijnselen bij organismen die met het vormfunctieperspectief zijn te onderzoeken. Wel moeten leerlingen vanuit aangereikte voorbeelden op zoek gaan naar vormen of functies. Leerlingen kunnen bij deze activiteiten zonder problemen organismen met hetzelfde schema van de ontwerpersbril bestuderen als technische objecten. Ook zijn zij in staat om functies van deelstructuren als wenkbrauwen en zaadhuid te beschrijven als dienstbaar aan het orgaan of organisme waar ze deel van uitmaken. De vertaalslag toont problemen op het moment dat het gaat om de functies van plantenonderdelen en functies van hele organismen. Leerlingen zien functies van hele organismen doorgaans ten dienste van de mens, en nog niet in het kader van overleving. Dit speelt nog sterker bij planten, waar ook functies van deelstructuren als bonen en bladeren voornamelijk gezien worden als voedsel voor mens of dier.

In onderstaand fragment van een interview met drie leerlingen (Protocol 5.13) is te zien dat ze er geleidelijk, zij het niet allemaal, van overtuigd raken dat de ontwerpersbril ook op levende dingen is toe te passen.

Protocol 5.13 Montini; Nagesprek na activiteit 8.

DJB: Eerst hebben we met de ontwerpersbril naar wasknijpers en zo gekeken en vandaag naar levende dingen. Kan dat zo maar?

Joost: Ik vind eigenlijk niet want dat is de natuur, en dat andere, bijvoorbeeld de computer dat is door iemand bedacht.

DJB: Dus jij vindt dat je het niet op dezelfde manier kunt bekijken.

.....

Rosan: Ik vind niet dat je hetzelfde naar een wasknijper als naar een boon kan kijken want als je hier de hulpvragen hebt 'Hoe werken de onderdelen samen aan een taak' en de boon hoeft toch geen taken te vervullen, die hoeft alleen maar opgegeten te worden. Het kan toch niet beter? Hij kan niet beter worden.

Rutger: Hij heeft wel een taak, om een boneplant te worden.

DJB: Dus je zegt: oogleden daar kan je het wel op toepassen want die hebben een taak, maar bonen kan je het niet op toepassen want die hebben geen taak.

Rosan: Die kunnen alleen in de grond gestopt worden, ik vind dat niet echt een taak.

.....

DJB: OK, nu ga ik nog wat preciezer vragen. Kun je bij levende dingen de vraag stellen: 'Hoe ziet het eruit'??

Rosan: Ja

Joost: Ja, het is een beetje rood, rond..

Rutger: Dat kan bij alles

DJB: Dat vind je wel. Kun je bij levende dingen en bij onderdelen van levende dingen de vraag stellen: 'Waar dient het voor'??

Joost: Ja

Rutger: Elk levend ding dient ergens voor wat het leeft.

DJB: Rosan, vind jij dat ook?

Rosan: Ik vind dat bij een boon, waar dient dat voor, om meerdere bonen te maken.....

DJB: Als je naar een onderdeel van een boon kijkt, zo'n velletje, kun je daarvan zeggen "Dat dient ergens voor"?

Joost: Ja

Rosan: Om de twee helften bij elkaar te houden

Rutger: Om te zorgen dat de boon niet opvalt, dat hij niet opgegeten wordt

DJB: En die twee helften, dienen die ergens voor?

Rosan: Ja, om opgegeten te worden, en er zit zo'n plantje tussen.

Joost: Dat is eigenlijk de voedselvoorraad.

DJB: Rosan heeft nog altijd twijfels: bij oogleden kan je dat wel zeggen, maar bij bonen vind je het nog altijd moeilijk om te zeggen "Dat dient ergens voor".

Rosan: Ja

.....

Rutger: Omdat het toch waarschijnlijk wel een doel heeft ook al is het bij een boon..

Joost: Waar dient het schilletje voor..

Rutger: Waar dienen de blaadjes voor...

Joost: Ja toch klopt het wel.

Rutger: Dus voor onderdelen.....

Joost: Klopt het wel.

DJB: Nu ga ik een stapje verder. Die middenkolom, waarom zo en niet anders, kan je dat bij wasknijpers en zo afvragen?

Rosan: Ja

Rutger: Ja het heeft een speciale vorm

.....

DJB: Maar we hebben het net gehad over de oogleden en zo, daar kan je je afvragen, hé, waarom zouden die oogleden nu zo'n dun velletje zijn, de huid is op andere plaatsen veel dikker en bij de oogleden heel dun.

Rutger: Omdat ze dan heel snel kunnen knippen.

DJB: Dus het is niet zo dat ze door mensen ontworpen zijn, maar je kunt er misschien wel naar kijken alsof ze ontworpen zijn.

Joost: Ja

Rutger: Dat is misschien handiger dat je naar dingen kan kijken, ja alsof je het zelf zou ontwerpen, dat je gewoon zelf het ontwerpt eigenlijk. Je ontwerpt het zelf en kijkt zou het beter kunnen, dan maak je zelf een ontwerp ervan.

Hoofdstuk 5 De toetsing van het scenario

Processen en gedrag zijn bij organismen nieuwe aspecten waar het vormfunctieperspectief op moet worden toegepast, daar deze nog niet als vormaspect voorkomen bij de analyse van voorwerpen zoals de wasknijper. Hoewel leerlingen in eerste instantie geneigd zijn het vormfunctieperspectief te beperken tot voorwerpen, nemen zij deze aspecten snel over, vooral na een uitgebreide oefening over vogelzang. Bij het ontwerpen van een dier worden als oplossing voor de vier V's regelmatig ook processen zoals haaruitval en gedragingen als dreigen genoemd.

Samenvattend kan gesteld worden dat het handelen met het vormfunctieperspectief volgens de gekozen criteria een redelijke mate van wendbaarheid blijkt te hebben. Leerlingen kunnen het bij technische objecten aangeleerde vormfunctieperspectief toepassen op nieuwe technische objecten, en op onderdelen van levende organismen. Het probleem ligt vooral bij het hanteren van het functiebegrip bij hele organismen, met name bij planten.

5.5.2 Systematiek

Het eerste criterium hierbij betreft het toepassen van het vormfunctieperspectief op de juiste objecten. De mate waarin leerlingen dit kunnen is af te leiden uit de antwoorden op vraag 9 uit de vragenlijsten in activiteit 6 en 12 (zie paragraaf 5.3.12 en Bijlage 3). De leerlingen moeten hierbij aangeven of de betreffende verschijnselen te onderzoeken zijn met de ontwerpersbril. Uit de vergelijking van de antwoorden op vraag 9 in de vragenlijst (zie Tabel 5.5 in activiteit 12) blijkt dat in het verloop van de lessenreeks een verandering optreedt. 'Bloemen' en 'vogelzang' worden bij de tweede vragenlijst vaker gekozen als objecten waar de ontwerpersbril op van toepassing is, 'stenen' wordt minder vaak gekozen. Dit wijst erop dat het scenario de leerlingen een beter beeld heeft gegeven van de objecten waarop het vormfunctieperspectief van toepassing is. Een preciezer beeld is te krijgen als de criteria die de leerlingen daarbij hanteren worden onderzocht. De categorie 'wel/geen functie' is weliswaar in frequentie toegenomen, maar wordt nog steeds door slechts 10% van de leerlingen genoemd. Of een object wel of geen onderdelen bevat is voor een groter deel van de leerlingen het belangrijkste criterium. Veel leerlingen geven als toelichting aan dat ze in deze lessen geleerd hebben dat deze zaken wel of niet met de ontwerpersbril te onderzoeken zijn. Dat geldt met name voor vogelzang, dat expliciet als voorbeeld is behandeld in activiteit 10. Deze behandeling van vogelzang heeft waarschijnlijk ertoe geleid dat het belang van het criterium 'wel/geen voorwerp/ding' sterk is afgenomen. De categorie 'wel/niet levend' is toegenomen, waarschijnlijk doordat in het tweede deel van het scenario de nadruk lag op levende organismen.

Het tweede criterium voor systematiek is of de leerlingen de handelingen, behorend bij het vormfunctieperspectief juist en volledig toepassen. Uit het verloop van de activiteiten zijn de volgende conclusies te trekken.

Algemeen

- Leerlingen kunnen vorm en functie duidelijk onderscheiden
- Leerlingen kunnen vorm en functie van een object met elkaar verbinden met verwijspijlen. Het eerste scenario was daarin effectiever dan het tweede scenario. Bij de napeiling van het eerste scenario blijkt ook na drie maanden deze vaardigheid nog in gelijke mate aanwezig.

- Leerlingen en leerkrachten hebben problemen met wat in de middenkolom moet staan
- Ten aanzien van de kolom 'Hoe ziet het eruit?' uit de ontwerpersbril*
- Leerlingen kunnen de categorieën ruimtelijke vorm en materiaal spontaan hanteren, de categorie constructie vergt nadere uitleg.
 - De categorieën materiaal en onderdeel worden soms verward, vooral als de onderdelen verschillen in materiaal.
 - Leerlingen zijn in staat om zowel structuren als processen in de kolom 'Hoe ziet het eruit?' te plaatsen, vooral bij vragen van type II.

Ten aanzien van de kolom 'Waarom zo en niet anders?' uit de ontwerpersbril

- Leerlingen hanteren alle verklaringscategorieën in ontwerpdiscussies, zonder evenwel bewust te zijn dat zij daarmee in de middenkolom bezig zijn.
- Indien leerlingen zelf iets moeten invullen in de middenkolom komen zij vaak niet verder dan 'anders doet hij het niet', tenzij counterfactuals zijn gegeven.
- Het verklaren van vormkenmerken door te verwijzen naar meerdere functies tegelijk lukt bij (ontwerp)vragen van functie naar vorm, maar niet bij vragen van vorm naar functie.
- Heuristieken in de vorm van hulpvragen op het ontwerpblad worden vaak niet gebruikt of zijn niet effectief.

Ten aanzien van de kolom 'Waar dient het voor?' uit de ontwerpersbril

- Leerlingen noemen bij planten vaak alleen functies ten dienste van de mens.
- Leerlingen hebben moeite om deelfuncties te onderscheiden van de functie van het geheel.

Het derde criterium betreft de vraag of leerlingen zelf spontaan passende vragen stellen vanuit het vormfunctieperspectief. Met name bij het bespreken van ontwerpen zoals in de activiteiten 2 en 11, blijkt een deel van de leerlingen vragen uit verschillende categorieën van het vormfunctieperspectief te stellen. Dit wil echter niet zeggen dat zij zich er dan ook bewust van zijn dat deze vragen te plaatsen zijn in de ontwerpersbril, laat staan dat zij daaruit zouden voortkomen.

Ten aanzien van systematiek valt te concluderen dat de leerlingen een redelijk beeld blijken te verwerven van de objecten waarop het vormfunctieperspectief van toepassing is, zonder dat zij daar echter expliciet het functiecriterium bij betrekken. Verder kunnen zij eenvoudige relaties leggen en verbinden met het schema van de ontwerpersbril. Bij complexere relaties zijn zij soms in staat om deze in de ontwerpdiscussie naar voren te brengen, maar zij kunnen deze nog niet koppelen aan het schema van de ontwerpersbril.

5.5.3 Taligheid en bewustheid

Het eerste criterium betreft de vraag of de leerling het vorm-functieperspectief kan omschrijven. In nagesprekken met groepjes leerlingen weten de leerlingen het schema van de ontwerpersbril goed te reproduceren en meestal ook te vertellen wat er in welke kolom moet staan. Onderstaand fragment geeft een gesprek weer na activiteit 2.

Hoofdstuk 5 De toetsing van het scenario

Protocol 5.14 KWS; Nagesprek na activiteit 3.

DJB: Wat heb je in deze les gedaan?
Dennis: Vorige les hebben we iets ontworpen en dat moesten we in deze les maken.
DJB: Als je nu vergelijkt wat we met die wenkbrauw gedaan hebben en wat we met die potloden gedaan hebben, en we kijken naar de ontwerpersbril: Waar zijn we begonnen op die bril en waar zijn we geëindigd met die wenkbrauw?
Annem: Eigenlijk zijn we geëindigd in het midden.
DJB: En waar zijn we begonnen?
Marl.: Hoe het eruitziet, waar het voor dient en zo.
DJB: Dat noem ik altijd heen-en-weer-denken, en wat we vandaag gedaan hebben?
Marl.: Hoe ziet het eruit..
DJB: Ja maar waar zijn we vorige week mee begonnen?
Dennis: Met ontwerpen.
DJB: Maar je ontwerpt niet vanuit het niets, je begint met een opdracht. Waar staat die opdracht dan?
Marl.: In het midden volgens mij.
Annem.: Waar het voor dient.
DJB: Toen hebben we oplossingen van iedereen bekeken, wat hebben we toen gedaan?
Annem: Waarom zo en niet anders.

De leerlingen gebruiken de titels van de kolommen als aanduiding van vorm en functie, wat ook de bedoeling was. Deze titels blijken ook in andere nagesprekken bij de leerlingen goed bekend te zijn.

Uit de antwoorden op vraag 8 van de vragenlijst uit de activiteiten 6 en 12 blijken de beide scholen nogal te verschillen. Het is niet duidelijk waar dit verschil tussen de twee scholen door veroorzaakt wordt. Op de KWS neemt de vaardigheid (of de bereidheid) om het vormfunctieperspectief te omschrijven eerder af dan toe. Op Montini echter is een groeiende groep in staat om het vormfunctieperspectief te omschrijven als een procedure. In de eerste reflectie omschrijven 9 leerlingen het onderzoeken met de ontwerpersbril als een procedure, bestaande uit twee of meer van de volgende handelingen: eerst kijken/tekenen, daarna nagaan waar het voor dient, en daarna nagaan waarom zo en niet anders. In de tweede reflectie is dit aantal toegenomen tot 13 (31%).

In de napeiling op De Heerd blijkt dat ook na drie maanden de meeste leerlingen nog de hoofdvragen uit het schema kunnen reproduceren.

Uit het Protocol 5.10 van een nagesprek blijkt dat een leerling een aarzelende poging doet het toepassen van de ontwerpersbril te beschrijven als een proces van 're-invention'.

Rutger: Dat is misschien handiger dat je naar dingen kan kijken, ja alsof je het zelf zou ontwerpen, dat je gewoon zelf het ontwerpt eigenlijk. Je ontwerpt het zelf en kijkt zou het beter kunnen, dan maak je zelf een ontwerp ervan.

Het tweede gehanteerde criterium is of leerlingen zelf aangeven een nieuw perspectief te hebben verworven. Uit de antwoorden van de leerlingen op vraag 1 en 2 uit de vragenlijsten blijkt dat de meeste leerlingen aangeven in de loop van de lessenreeks meer dingen op te merken, ook buiten de les. Dit percentage neemt toe in de loop van de lessenserie. Tevens blijkt uit de napeiling na drie maanden op De Heerd' dat 45% van de leerlingen aangeeft ook na de lessen nog wel eens op deze manier naar dingen gekeken te hebben (paragraaf 5.3.13).

Bij de vraag uit de napeiling of ze iets aan de lessen hebben gehad antwoordt 40 % dat ze anders of beter hebben leren kijken. Dit ‘anders kijken’ wordt ook genoemd bij de positief gewaardeerde lesaspecten, zij het steeds door een kleine minderheid.

Het derde criterium betreft de vraag of de leerlingen reflecteren op het werken met de ontwerpersbril. Hierbij gaat het niet om de geplande reflectiemomenten, maar om momenten waarop zichtbaar wordt dat leerlingen bewust omgaan met het vormfunctieperspectief. Een probleem hierbij is dat vrijwel alleen de klassikale besprekingen noteerbare uitingen van leerlingen opleveren, en dat het werken in groepen weinig talig is. In elk geval zijn geen spontane uitspraken van leerlingen waargenomen die wijzen op reflectie op het werken met de ontwerpersbril.

Het vierde criterium betreft de vraag of de leerlingen ook de betekenis van het geleerde begrijpen, met andere woorden of ze de zin ervan kunnen aangeven. Uit de antwoorden op vraag 5 van de vragenlijst blijkt al dat dit voor velen niet het geval is, hoewel aan het eind van de lessenserie dit wel verbeterd is (zie paragraaf 5.3.12). Een ander gegeven dat hierbij veelzeggend is, is dat een groot percentage aangeeft geen andere bril te willen verwerven. Ook hier is duidelijk dat het eerste scenario effectiever is geweest dan het tweede. De afwijzende houding van een deel van de leerlingen kan te maken hebben met de lange duur, zowel van de lessenserie (12 weken) als van de lessen zelf (gemiddeld een uur), gekoppeld aan de relatief lange klassikale besprekingen. Dat zijn zij van lessen natuuronderwijs niet gewend, en in de evaluaties komen deze punten ook regelmatig terug.

De conclusie ten aanzien van taligheid en bewustheid is dat de leerlingen het werken met het vormfunctieperspectief redelijk kunnen verwoorden, waarbij de middenkolom van het schema weer de meeste moeilijkheden oplevert. Zij geven ook aan iets opmerkzamer te zijn geworden. Veel leerlingen zijn aarzelend over het nut van de ontwerpersbril, en slechts een minderheid geeft aan dat zij nog zo'n leerervaring willen opdoen.

5.6 Adequaatheid van het scenario

Het scenario heeft nog niet geleid tot het verwerven van het vormfunctie-perspectief als zelfstandig te hanteren metacognitieve strategie. De leerlingen zijn wel in staat om de handelingen in verschillende situaties met enige regelmaat toe te passen en zelfs ten dele om het vormfunctieperspectief te omschrijven als een strategie. Het gebruik van het vormfunctieperspectief om *nieuwe* kennis mee te verwerven blijft echter nog afhankelijk van de coaching door de leerkracht. Dat wil zeggen dat dit leerdoel in principe wel haalbaar is, maar dat het scenario nog niet adequaat gebleken is om het vormfunctieperspectief door de leerlingen te laten verwerven als onderdeel van hun eigen denken en handelen. Hierbij spelen niet alleen cognitieve moeilijkheden een rol, maar ook de erkenning van dit soort leerresultaten door de leerlingen. Hoewel naar het oordeel van de onderzoeker en de leerkrachten interessante ontwerpdiscussies plaatsvonden, waarin het heen-en-weer-denken leidde tot nieuwe kennis, ervoeren de leerlingen het op deze manier kijken naar verschijnselen maar ten dele als zinvol.

Het scenario is wel adequaat gebleken in onderdelen van het vormfunctie-perspectief. Hierbij heeft het scenario deels nieuwe handelingen aangeleerd, deels handelingen waarover leerlingen al beschikten aan het licht gebracht.

Hoofdstuk 5 De toetsing van het scenario

In het algemeen blijken leerlingen wel in staat om bekende relaties onder te brengen in het schema van de ontwerpersbril. Leerlingen blijken echter vaak kenmerken over het hoofd te zien indien zij daarvoor geen functie weten. Een uitgebreide modeling en coaching is nodig om leerlingen te leren onderdelen en hun deelfuncties te onderscheiden van het geheel en van de functie van het geheel. Het eerste scenario was daarin effectiever dan het tweede. Coaching is ook nodig voor het voeren van een ontwerpdiscussie. In groepjes lukt het de leerlingen nog niet om zelfstandig deze discussies te voeren, maar klassikaal onder leiding van de leerkracht of onderzoeker lukt dit wel. Het voeren van een ontwerpdiscussie gaat daarbij beter indien meerdere ontwerpen vergeleken kunnen worden dan als één bestaand ontwerp verklaard moet worden via vergelijking met counterfactuals. Een andere factor die het leggen van vormfunctierelaties vergemakkelijkt is het verkleinen van de zoekruimte door het laten kiezen uit gegeven alternatieven, bijvoorbeeld door een specifieke counterfactual te plaatsen naast het bestaande ontwerp.

Het tweede scenario heeft leerlingen wel gestimuleerd tot ontwerpen, waarbij zowel oplossingen voor technische problemen werden ontworpen, als oplossingen voor het vervullen van de voorwaarden voor overleving in bepaalde condities, de vier V's. Leerlingen blijken daarbij goed in staat om deze ontwerpen te verdedigen en te becommentariëren. Bij deze ontwerpdiscussies kon de rol van de leerkracht beperkt blijven tot het structureren en benoemen van elementen uit de discussie.

In het algemeen is gebleken dat een ontwerpdiscussie even goed kan starten vanuit de vorm als vanuit de functie. In deze ontwerpdiscussies zijn meerdere typen van heen-en-weerdenken naar voren gekomen.

HOOFDSTUK 6

Discussie en conclusies

- 6.1. Inleiding
- 6.2. Uitvoering van het scenario
- 6.3. Afwijkingen van het voorspelde leerproces
- 6.4. Haalbaarheid van perspectieven als leerdoel
- 6.5. Op weg naar een nieuwe onderwijsleerstrategie
 - 6.5.1. Leerpunten uit de uitvoering
 - 6.5.2. Ordeningscriteria
 - 6.5.3. Schets van een nieuwe onderwijsleerstrategie
 - 6.5.4. Leerdoelen en het analyseschema
- 6.6. Opbrengst van dit onderzoek
 - 6.6.1. Bijdrage aan de domeinspecifieke visie op leren en onderwijzen
 - 6.6.2. Bijdrage aan materiaal- en leerplanontwikkeling
- 6.7. Suggesties voor vervolgonderzoek

6.1 Inleiding

In hoofdstuk 1 zijn in Figuur 1.4 de fasen van dit ontwikkelingsonderzoek met bijbehorende evaluatievragen weergegeven, te weten:

1. Was de uitvoering zoals bedoeld?
2. Was het scenario adequaat?
3. Was de onderwijsleerstrategie adequaat?
4. Is het verwerven van perspectieven een haalbare kaart?
5. Kunnen perspectieven een oplossing vormen voor het curriculumprobleem in natuuronderwijs?

Via beantwoording van de eerste drie evaluatievragen in de voorafgaande hoofdstukken, zijn we terug bij de uitgangsvraag, namelijk de vraag in hoeverre perspectieven een oplossing zouden kunnen bieden voor het probleem van leerstofselectie in het leergebied natuuronderwijs. Alvorens die vraag te beantwoorden, zullen eerst de bevindingen uit de voorafgaande hoofdstukken worden bediscussieerd, en zal worden nagegaan welke verbeteringen in het scenario en in de onderwijsleerstrategie nog mogelijk zijn.

In paragraaf 6.2 zal ingegaan worden op de vraag naar de uitvoering, met name het aspect instructie van de leerkrachten. Paragraaf 6.3 behandelt de vraag in hoeverre het scenario en de onderwijsleerstrategie adequaat waren, door verklaringen te zoeken voor de afwijkingen van het voorspelde leerproces. In paragraaf 6.4 wordt de haalbaarheid van perspectieven als leerdoel besproken. In paragraaf 6.5 wordt een opzet gegeven voor een bijgestelde onderwijsleerstrategie en een bijgesteld analyseschema. Paragraaf 6.6 geeft een overzicht van de bijdrage van dit onderzoek aan de theorievorming en aan de praktijk. Afgesloten wordt met suggesties voor vervolgonderzoek in 6.7.

6.2 De uitvoering van het scenario

De uitvoering is grotendeels verlopen volgens de handleiding, maar op enkele punten is daarvan afgeweken. Ten dele lag de oorzaak hiervan in zaken zoals uitlopen van lesonderdelen, voor een ander deel in de voorbereiding van de leerkrachten. Eerst wordt op dit laatste punt ingegaan.

De voorbereiding van de leerkrachten bestond uit een instructiemiddag vooraf, een gedetailleerde docentenhandleiding en gesprekken voorafgaand aan elke les. In een nagesprek met de leerkrachten zijn hun ervaringen besproken. Allen gaven aan dat de uitvoering van het scenario hun een nieuwe manier van kijken heeft bijgebracht, namelijk het naar levende organismen kijken als een ontwerp, en ontworpen producten bekijken met meer aandacht voor detail. Dat betekent ook dat de uitvoering van het scenario zelf in feite nog een deel van de instructie was. Hoewel zij de handleiding en de mondelinge instructie duidelijk vonden, konden zij toch pas aan het eind overzien waar het allemaal toe moest leiden. Gevolg daarvan was weer dat zij, met name in het begin, nog niet altijd goed raad wisten met het leiden van de ontwerpdiscussies. Deze ervaring van de leerkrachten komt overeen met mijn observaties van met name de eerste activiteit. De ontwerpdiscussies waren duidelijk het moeilijkste onderdeel van de taak van de leerkrachten. Het verloop van deze discussies kon ook niet volledig voorspeld worden, doordat het ging om vrij open activiteiten. In de handleiding was daarbij wel aan te geven welke punten in elk geval naar voren moesten komen, maar was niet te voorspellen waarmee de leerlingen zelf zouden

komen aanzetten. De taak van de leerkracht daarbij was enerzijds om de uitspraken/producten van de leerlingen te kunnen plaatsen in het kader van de ontwerpersbril/het vormfunctie-perspectief, waarbij zij soms nieuwe termen moesten introduceren via het herformuleren van de uitspraken van de leerlingen. Anderzijds was hun taak om via hulpvragen de leerlingen daarin een stapje verder te helpen, onder andere door relaties te leggen, counterfactuals te bedenken, en te wijzen op inconsequenties. Bovendien moesten zij de ontwerpen van de leerlingen, zowel de technische als de biologische, ook kunnen beoordelen en vergelijken. Dat deze moeilijke taken toch vaak goed volbracht werden, had te maken met het gegeven dat het ging om ervaren en geïnteresseerde leerkrachten, en om leerlingen die gewend waren naar elkaar te luisteren. De voornaamste moeilijkheden die zich in de ontwerpdiscussies voordeden worden hieronder aangegeven.

1. Het vergelijken van leerlingtekeningen van technische objecten.

De eerste ontwerpdiscussie betrof het vergelijken van de tekeningen van de paperclip. Hierbij hadden de leerkrachten moeite om de discussie verder te brengen door te analyseren wat de voor- en nadelen zijn van de verschillende ontwerpen, en door deze te vergelijken met het standaardontwerp van de paperclip.

2. Het gebruik van de juiste termen.

De leerkrachten verwarren soms de vraag naar de onderdelen met de vraag naar het materiaal, bijvoorbeeld in de bespreking van de wasknijper. Dat werd veroorzaakt door de vraag ‘Waar bestaat het uit’, die bedoeld was om te vragen naar onderdelen, maar ook opgevat kan worden als vraag naar het materiaal. Ook werden soms oorzaak en functie niet onderscheiden als verklaring voor bepaalde vormen, bijvoorbeeld als sommige leerlingen de bruine kleur van de boon verklaarden als schutkleur (functie) en anderen door de kleurstoffen in het schilletje (oorzaak).

3. Het invullen van de middenkolom / Het bedenken van goede counterfactuals.

De opzet was dat in de middenkolom de vormfunctierelatie verklaard zou worden via antwoorden op vragen als ‘Waarom deze vorm? Waarom dit materiaal? Zou het beter kunnen?’. Leerlingen kwamen zelf hier meestal niet verder dan algemene uitspraken als ‘Anders doet hij het niet’ of ‘Dan gaat ie dood’, of kwamen met counterfactuals die niet plausibel waren (‘Als je oogleden van beton waren, kreeg je ze niet open’). De moeilijkheid zat hier in het vinden van de juiste counterfactuals die de vragen uit de middenkolom zouden oproepen. Bij een technisch ontwerp kan je altijd vragen of er niet een eenvoudiger (en dus goedkoper) oplossing te vinden is door zaken weg te laten, alles van hetzelfde materiaal te maken, etc. Bij biologische objecten kan ook de vraag gesteld worden of er geen eenvoudiger oplossing denkbaar is, maar het is moeilijker om je een counterfactual voor te stellen voor een biologisch kenmerk. Om dergelijke ontwerpdiscussies goed te leiden, moet je bovendien over kennis van zaken beschikken over eigenschappen van materialen, over de bouw van organismen en dergelijke. De moeilijkheid voor de leerkrachten was extra groot, omdat ook voor mijzelf tijdens de uitvoering pas helemaal helder werd wat voor soort problemen deze kolom kon opleveren.

Een en ander heeft gevolgen voor de scholing van leerkrachten, zowel in het kader van een eventueel nieuw scenario als in het kader van de opleiding voor leerkrachten. Een dergelijke scholing moet in elk geval een fase bevatten waarin de leerkrachten zelf participeren in activiteiten waarin de handelingen van het vormfunctieperspectief worden gedemonstreerd,

zoals de analyse van objecten of het zelf ontwerpen. Pas als zij zelf daadwerkelijk een andere manier van kijken hebben verworven, is een noodzakelijke voorwaarde voor een goede begeleiding vervuld. Verder zouden bij een volgend scenario de betreffende leerkrachten kunnen worden ingeschakeld bij de ontwikkeling, zodat de lessen meer hun eigen lessen worden. In de opleiding moet in ieder geval getraind worden op bovengenoemde knelpunten die in de ontwerpdiscussies kunnen optreden.

Tijdens de uitvoering bleek ook dat de spanningsboog van de leerlingen zwaar op de proef werd gesteld. Leerlingen vonden de lessen lang duren, waarbij met name de klassikale discussies hun zwaar vielen. Deze leerlingen waren blijkens informatie van de leerkrachten gewend veel in groepen zelfstandig te werken. Klassikale activiteiten waarin de leerlingen langere tijd moesten luisteren, kwamen minder vaak voor. Natuuronderwijs-onderwerpen duurden in deze klassen gewoonlijk korter, zowel in lesduur als in aantal weken dat daaraan besteed werd. Doordat bij de uitvoering van het scenario af en toe de interesse van de leerlingen afnam, of de lessen te lang uitliepen, is op die momenten besloten om onderdelen te laten vervallen. Op de Montinischool speelde daarnaast een rol dat de leerlingen in dezelfde periode met twee andere projecten bezig waren, die veel aandacht en creativiteit vergden.

6.3 Afwijkingen van het voorspelde leerproces

De volgende knelpunten veroorzaakten dat de leerlingen de gestelde doelen niet of alleen met intensieve begeleiding bereikten:

1. *Leerlingen merken alleen datgene op waar zij al een functie van weten.*
2. *Leerlingen hebben moeite met het verklaren van bestaande ontwerpen.*
3. *Leerlingen hebben moeite met de analyse van planten.*
4. *Leerlingen accepteren geen onzekere kennis*
5. *Leerlingen hebben onvoldoende zicht op de leerresultaten*

Deze moeilijkheden worden hieronder besproken en zo mogelijk verklaard.

1. Leerlingen merken alleen datgene op waar zij al een functie van weten.

Leerlingen die geconfronteerd worden met een onderdeel waarvan zij de functie niet weten, stellen zich ook niet de vraag naar de functie (leerdoel 3.1.a, vraag type I). Dit was vooral waarneembaar in de activiteiten 5 en 8. Zij merken zo'n onderdeel niet op of negeren het. Dit is een belangrijk knelpunt, omdat het verwerven van het vormfunctieperspectief juist bedoeld is om nieuwe kennis te verwerven. Hieronder worden enkele verklaringen geformuleerd voor het verschijnsel dat leerlingen zich tot het bekende beperken.

Verklaring a. De verschijnselen worden inderdaad niet gezien door een gebrek aan kennis over het object. Kennis van een verschijnsel bepaalt in hoge mate de waarneming. In paragraaf 2.2.3 is ten aanzien van het begrip vorm er ook op gewezen dat kennis over een functie de waarneming van vormen beïnvloedt. Als je al min of meer weet wat er te zien zal zijn, beschik je over een 'frame' of 'scheme' (Duschl & Hamilton, 1992). Bij het intekenen van de oogkassen in de schedels zagen veel leerlingen bijvoorbeeld geen verschil in oogstand. Dat de stand van de ogen in de schedel kan verschillen was kennelijk onbekend voor hen.

Verklaring b. De verschijnselen worden niet gezien doordat leerlingen onvoldoende inzien dat onderdelen van objecten of systemen een functie hebben voor dat object of

systeem. Dat leerlingen geen functies weten te bedenken voor onderdelen hangt samen met het gegeven dat zij moeite hebben deelfuncties te onderscheiden van de functie van het geheel (leerdoel 5.1). Als leerlingen zich niet realiseren dat bijvoorbeeld de zaadhuid een andere functie kan hebben dan het zaad zelf, is het ook minder vanzelfsprekend om de zaadhuid als onderdeel op te merken. Een voorwerp wordt nog niet als een systeem gezien waarvan alle onderdelen een eigen bijdrage aan het totaal leveren, maar als een ondeelbaar geheel met één functie. De functie van de knop aan de tafelpoot is dan niet te onderscheiden van de functie van de tafel zelf. Een liniaal is een meetding, dus alleen de maatverdeling is van belang. Deelfuncties als vasthouden van de liniaal en een lijn erlangs trekken worden dan over het hoofd gezien, en daarmee ook de onderdelen die die deelfuncties hebben. Vanuit deze verklaring is te voorspellen dat leerlingen meer zullen opmerken naarmate zij meer ervaring hebben met de analyse van objecten. Het eerste scenario bevatte meer ‘modeling’ (hardopdenkend voordoen door de leerkracht) dan het tweede scenario, en de leerlingen die het eerste scenario hebben gevolgd, namen inderdaad meer onderdelen waar aan hun objecten dan de leerlingen die het tweede scenario hebben gevolgd.

Verklaring c. De verschijnselen worden wel gezien, maar kunnen niet worden geduid en worden daarom weggelaten. Deze verklaring wordt ondersteund door uitspraken van leerlingen die erop wijzen dat zij sommige onderdelen wel zien, maar min of meer bewust weglaten uit de beschrijving omdat ze er geen functie voor weten (Protocol 5.4 en 5.7). Dit kan te maken hebben met de houding van leerlingen tegenover nieuwe kennis die geen betekenis voor hen heeft. De opdrachten in het scenario zijn bedoeld om de leerlingen te laten zien dat de omgeving complexer is dan op het eerste gezicht lijkt. Het is echter de vraag of leerlingen niet liever willen dat de omgeving overzichtelijk blijft. Margadant (1985) wijst erop dat leerlingen in deze leeftijd een ‘synthetiserende denkwijze’ hebben, waarin zij pogen een afgerond beeld te vormen van de veelheid aan verschijnselen. Misschien heeft dit tot gevolg dat waarnemingen die dat afgeronde beeld vertroebelen, worden weggelaten. Een variant op verklaring c is dat de verschijnselen wel worden gezien, maar dat de leerlingen nog niet over woorden beschikken om het nieuwe verschijnsel te benoemen en daarmee te onderscheiden van andere verschijnselen. Als je voor een waarneming nog geen naam hebt, wordt het erg moeilijk erover te communiceren. Nadat je een nieuw begrip hebt gemunt, kom je het bijpassende verschijnsel overal tegen. Koningsveld gebruikt in dit verband de term ‘het begrip als bril’ (Koningsveld, 1976).

Bovenstaande verklaringen hangen met elkaar samen, en hebben alle te maken met een gebrek aan ervaring in het analyseren van objecten. Nader onderzoek zou moeten uitmaken welke verklaring of combinatie van verklaringen de beste is. Het probleem dat hier geschetst wordt, is niet onoverkomelijk. De leerlingen kunnen bijvoorbeeld wel deelfuncties aangeven indien de vraag wordt gesteld wat er zou veranderen bij afwezigheid van het kenmerk. Met coaching zijn deze leerdoelen dus wel bereikbaar. Het is te verwachten dat met een uitgebreidere training in het analyseren van systemen, de leerlingen beter in staat zullen zijn onderdelen te onderscheiden en daar deelfuncties aan toe te kennen. Een belangrijke stap daarin is het vergelijken van verschillende ontwerpen met dezelfde functie. De verschillen vallen op en worden zo direct onderkend als een onderdeel.

2. Leerlingen hebben moeite met het verklaren van bestaande ontwerpen

Het verklaren van een ontwerp (leerdoel 4.2, vraag type IV) lukt in bepaalde gevallen wel, in andere gevallen niet. Het lukt de leerlingen wel om ontwerpen die ze zelf bedacht hebben, te verklaren en ook om commentaar te leveren op ontwerpen van anderen.

Het vergelijken van meerdere bestaande ontwerpen lukt ten dele, met name als leerlingen kunnen kiezen uit een beperkt aantal alternatieven en deze keuze moeten verdedigen. Het lukt echter niet om één bestaand ontwerp te verklaren via het vergelijken met counterfactuals. Ook leerkrachten hebben daar moeite mee, en het is dus niet verwonderlijk dat leerlingen hier nog niet zo ver mee komen. Het zelf bedenken van plausibele alternatieven om een ontwerp mee te vergelijken is moeilijker dan het vergelijken met gegeven alternatieven, zelfs met hulpvragen zoals 'Is dit materiaal het beste?'. Een extra probleem doet zich voor bij het verklaren van biologische onderwerpen. Leerlingen zijn waarschijnlijk geneigd om aan te nemen dat biologische ontwerpen perfect zijn, en per definitie niet beter kunnen. Dat uiten zij ook in uitspraken als 'Het kan toch niet beter'. Waarschijnlijk zien leerlingen dan ook niet het nut in van een dergelijke oefening (zie ook punt 4).

De problemen zoals in dit punt weergegeven, kunnen worden vermeden door ten eerste het vergelijken van meerdere ontwerpen vooraf te laten gaan aan het verklaren van één ontwerp. De alternatieven zijn dan gegeven in de ontwerpen zelf en hoeven niet door de leerling bedacht te worden. Als tweede stap kunnen dan bij het verklaren van één ontwerp in eerste instantie de counterfactuals door de leerkracht worden gegeven, zodat leerlingen alleen daaruit hoeven te kiezen. Daarnaast zal de in punt 1 voorgestelde uitgebreidere training in het analyseren van voorwerpen bijdragen om dit probleem op te lossen.

3. Leerlingen hebben moeite met de analyse van planten

In het onderzoek van Margadant (1985) is gebleken dat kinderen levenskenmerken vooral aan dieren koppelen. Planten zijn een onduidelijke levensvorm voor hen. Leerlingen hebben moeite met het toewijzen van functies aan plantenonderdelen (leerdoel 3.1.b) door een gebrek aan kennis over het functioneren van planten. Bovendien blijken functies van planten door leerlingen vooral gezien te worden in relatie tot de mens, en niet in relatie tot de eigen overleving. 76 % van de leerlingen noemt 'voedsel' als enige functie van bonen, slechts 9 % noemt ook de voortplanting. Het instrument van de 'vier V's' kan bijdragen aan het besef dat elk organisme, plant, dier of mens, kenmerken zal moeten vertonen die de eigen overleving garanderen. Dat veronderstelt wel enige kennis nodig van voortplanting en voeding van de plant. Het lijkt aan te raden om eerst planten uit de vrije natuur te kiezen en pas in tweede instantie cultuurplanten, om verwarring over de vraag waar het voor dient te vermijden.

4. Leerlingen accepteren geen onzekere kennis.

In paragraaf 5.4.2 is aangegeven dat in het redeneren van leerlingen vaak geen ruimte lijkt te zijn tussen weten en niet-weten. Hiermee wordt bedoeld dat leerlingen weinig bereidheid tonen om te werken met onzekere kennis. Enerzijds formuleren leerlingen niet graag hypothesen over een functie, tenzij nadrukkelijk uitgenodigd. Anderzijds twijfelen zij nauwelijks als ze eenmaal denken iets te weten. Zo worden analogieën soms klakkeloos als verklaring gebruikt, zonder na te gaan of het analoge voorbeeld voldoende overeenkomt met het onderwerp in kwestie. Ze zien niet dat een analogie op zich nog geen verklaring oplevert.

Het opstellen en toetsen van hypothesen zijn belangrijke activiteiten om tot nieuwe kennis te komen. Maar leerlingen merken veel zaken niet op en stellen daar ook geen vragen over. Als er wel vragen worden geformuleerd, bijvoorbeeld naar de functie van een object, formuleren leerlingen uit zichzelf daar geen hypothesen over, waardoor deze heuristische

route naar nieuwe kennis is afgesneden. Leerlingen blijken met coaching deze stappen wel te durven zetten. Het is dus geen onbereikbaar leerdoel. Dat leerlingen moeite hebben met onzekere kennis is een algemener probleem en is door meerdere auteurs gesignaleerd. Het gaat hierbij om zaken als het formuleren van hypothesen, het openhouden van meerdere mogelijkheden, het uitstellen van een oordeel, en het ter discussie stellen van kennis. Margadant merkt in haar onderzoek op dat kinderen op de basisschool in natuuronderwijs vrijwel nooit meerdere opties tegelijk hanteren (Margadant, 1985). In een onderzoek naar de ontwikkeling van kinderen in filosofisch denken is een aantal karakteristieken geformuleerd die zijn gebruikt als criteria om deze ontwikkeling in kaart te brengen (Rondhuis & Van der Leeuw, 2000). Deze criteria voor filosofische kwaliteit hebben voor een groot deel te maken met de hierboven gestelde zaken, met name de criteria ‘indecisive thinking’ (gevoeligheid voor ambiguïteit, vage grenzen en onzekerheid), en ‘tentative behaviour’ (probeergedrag, contrafactische hypothesen stellen). De voorlopige resultaten van dit onderzoek geven geen aanwijzing voor een groei in filosofische kwaliteit (Rondhuis, in voorbereiding). Uit ander onderzoek blijkt dat gericht onderwijs wel de ontwikkeling van formele denkvaardigheden, zoals het onderscheiden van variabelen, kan bevorderen. Het project Cognitive Acceleration through Science Education (CASE) is daar een voorbeeld van (Adey & Shayer, 1993).

5. Leerlingen hebben onvoldoende zicht op de leerresultaten

Een perspectief als leerdoel is van een totaal andere orde dan de leerdoelen die de leerlingen gewend zijn na te streven. In de eerste activiteit bleek het moeilijk om aan de leerlingen duidelijk te maken dat het om een bepaalde manier van kijken zou gaan. Gezien het hierboven genoemde punt 4 is dat ook niet vreemd. Erkennen dat je een bepaalde manier van waarnemen erbij kan leren, veronderstelt een besef dat er dus meerdere manieren van waarnemen zijn, en niet één soort waarneming waarmee je kennis kunt opdoen aan ‘de’ werkelijkheid. In feite vraag je daarmee aan de leerling om ook zelf het constructivistisch uitgangspunt te onderschrijven. Het is de vraag of dit aansluit bij de epistemologische opvattingen die leerlingen hebben. Enerzijds geeft een groep leerlingen aan dat ze door het scenario inderdaad op een andere manier hebben leren kijken. Hierbij was vooral het eerste deel van het scenario effectief. Anderzijds willen de meeste leerlingen niet nog een andere bril erbij leren, waarbij een aantal aangeeft dat ze dit verwarrend vinden. Een aanzienlijk deel beoordeelt de reflectieactiviteiten met de ontwerpersbril negatief, en ziet er niet het nut van in. Ook in andere onderzoeken is gebleken dat leerlingen regelmatige reflectie op hun leerproces negatief waarderen (White & Gunstone, 1989). Het is de vraag of je van leerlingen van deze leeftijd kunt verwachten dat ze discussies over ontwerpen zien als leren in termen van kennisvermeerdering. Veel van deze discussies leveren immers geen zekere kennis op of stellen juist kennis waarover leerlingen dachten te beschikken ter discussie. Dit stelt weer de vraag naar de epistemologische opvattingen van leerlingen van deze leeftijd. Helaas is daar nog weinig over bekend; het meeste onderzoek hiernaar is gedaan met adolescenten. Uit een reviewartikel van Hofer & Pintrich (1997) blijkt dat in de meeste onderzoeken sprake is van een onderverdeling van opvattingen over kennis die opklimmen in complexiteit, waarbij een kennisopvatting die aansluit bij het constructivisme ook bij volwassenen maar zelden wordt aangetroffen. Bovendien lijkt bij de ontwikkeling in epistemologische opvattingen de conceptual change opvatting van toepassing. Waar dus in hoofdstuk 3 beargumenteerd werd dat voor het verwerven van een goed begrip van de vormfunctierelatie de conceptual change opvatting minder relevant was, kan het goed zijn

dat voor het begrijpen van wat een *perspectief* inhoudt, wel degelijk van conceptual change sprake moet zijn.

De onderwijsleerstrategie en scenario hebben in feite gefungeerd als onderzoeksinstrument om de beginsituatie na te gaan van leerlingen in bovenbouw basisonderwijs ten aanzien van het werken met een perspectief. Op basis van de verzamelde gegevens is het nu mogelijk om meer realistische leerdoelen te stellen en daarvoor een onderwijsleerstrategie op te stellen. In paragraaf 6.5 wordt een voorstel gedaan voor bijgestelde leerdoelen en een bijgestelde onderwijsleerstrategie. In paragraaf 6.4 wordt nu eerst teruggekomen op de vraag of perspectieven als leerdoel in de bovenbouw van het basisonderwijs wel haalbaar zijn.

6.4 Haalbaarheid van perspectieven als leerdoel

Om perspectieven te kunnen hanteren als leerdoelen in Natuuronderwijs, moet aan een aantal voorwaarden voldaan worden. Perspectieven moeten duidelijk beschreven kunnen worden, zij moeten vertaalbaar blijken in relevante leerdoelen, en er moet een bijbehorende onderwijsleerstrategie te ontwikkelen zijn, waardoor leerlingen deze leerdoelen kunnen verwerven. Hieronder wordt beschreven wat uit dit onderzoek te concluderen valt over deze voorwaarden.

Dit onderzoek heeft aangetoond dat het mogelijk is het vormfunctieperspectief, zoals dat door biologen en technisch ontwerpers wordt gehanteerd, te analyseren en te beschrijven in één model. De vragen en heuristieken die in dit perspectief een rol spelen, zijn onder te brengen in dit model (hoofdstuk 2). Verder heeft dit onderzoek aangetoond dat een vertaling mogelijk is van het beschreven perspectief in leerdoelen voor de bovenbouw basisonderwijs. Bij deze leerdoelen wordt ook het kunnen hanteren van het vormfunctieperspectief als metacognitief instrument gerekend. De leerdoelen zijn direct afgeleid van het perspectief, en dekkend daarvoor op het niveau van leerlingen basisonderwijs. Zij sluiten aan op activiteiten die al in de bovenbouw van het basisonderwijs plaatsvinden, en vormen een relevante aanvulling daarop (hoofdstuk 4). Perspectieven kunnen namelijk ook al bij jonge kinderen fungeren als organizer voor leerervaringen (paragraaf 1.6). Tenslotte is uit dit onderzoek gebleken dat het mogelijk is een onderwijsleerstrategie te ontwerpen voor het verwerven van het vormfunctieperspectief (hoofdstuk 4). Bij de uitvoering is gebleken dat, hoewel veel van de leerdoelen nog niet zelfstandig door leerlingen te hanteren zijn, het grootste deel in principe haalbaar is met behulp van coaching. Of leerlingen basisonderwijs ook al een zodanige metacognitie kunnen ontwikkelen dat zij bewust en zelfstandig het perspectief kunnen hanteren, is echter twijfelachtig, ook gezien wat in punt 5 van paragraaf 6.3 gezegd is over de epistemologische opvattingen van kinderen. Aan de andere kant moet in het oog worden gehouden dat het scenario een 'stoomcursus' was, waarbij de leerlingen in korte tijd zowel de handelingen moesten leren en oefenen, als daarop moesten reflecteren. Bij invoering van perspectieven in het onderwijs zou zeker sprake moeten zijn van een stapsgewijze introductie over meerdere leerjaren.

Een haalbaarder weg lijkt om leerkrachten te leren het perspectief bewust te hanteren, waardoor zij hun leerlingen opdrachten kunnen aanbieden die de leerlingen laten oefenen met de handelingen van het vormfunctieperspectief. Ook is het mogelijk op basis

van dit perspectief leerlijnen en lesmateriaal te ontwikkelen op basis van dit perspectief. De vraag is echter wel of van alle leerkrachten basisonderwijs te verwachten is dat zij in voldoende mate in staat zullen zijn ontwerpdiscussies te leiden. De leerkrachten in dit onderzoek waren ervaren en geïnteresseerd, en desondanks leverde dit hen moeilijkheden op. De meeste leerkrachten basisonderwijs zullen op dit punt degelijk moeten worden nageschoold en het lesmateriaal zal een gedetailleerde handleiding moeten bevatten. De scholing zal de leerkracht in elk geval ook voldoende inhoudelijke kennis moeten bieden, daar leerkrachten minder bereid zijn tot een discussie als zij zich onzeker voelen over de vakinhoud (Carlsen, 1993). Dat vraagt een aanzienlijke tijdsinvestering van de leerkracht.

Door de tijdsinvestering die het verwerven van het vormfunctieperspectief van leerkrachten en leerlingen vraagt, moet de vraag gesteld worden hoe de tijdsinvestering zich verhoudt tot de verwachte meeropbrengst qua leereffecten. Dit hangt af van wat van het vak natuuronderwijs verwacht wordt. Momenteel heeft het vak een marginale positie in het programma voor de basisschool en dus ook in de opleiding (zie hoofdstuk 1). Natuuronderwijs bestaat nu nog grotendeels uit een serie losstaande verhalen, en niemand verwacht momenteel dat leerlingen in natuuronderwijs – zoals bij Taal- en Rekenonderwijs – een cognitief instrumentarium meekrijgen dat hun leerproces stuurt. Wil het vak bestaansrecht houden, dan zal duidelijk moeten worden wat de leerling uiteindelijk overhoudt aan de reeks uiteenlopende ervaringen die momenteel de inhoud van natuuronderwijs vormt. Perspectieven kunnen in een nieuwe visie op natuuronderwijs een belangrijke rol gaan spelen.

De vraag of perspectieven als leerdoel in de bovenbouw van het basisonderwijs een haalbare kaart zijn (evaluatievraag 4) kan nu als volgt worden beantwoord. Het is mogelijk lesmateriaal te ontwikkelen waarin leerlingen een bepaald perspectief geleidelijk vollediger, zelfstandiger en bewuster gaan hanteren. Het punt waarop de leerling het perspectief als metacognitieve strategie gaat hanteren, kan daarbij wellicht pas in het voortgezet onderwijs liggen. Gedegen scholing van de leerkrachten is een voorwaarde voor een succesvolle introductie van perspectieven.

Kunnen perspectieven inderdaad een oplossing bieden voor het probleem van de selectie van leerstof in het leerplan natuuronderwijs (evaluatievraag 5)? Op zich geven perspectieven niet aan *welke* onderwerpen wel en niet aan de orde komen in natuuronderwijs. Zij kunnen echter wel de ervaringen uit verschillende onderwerpen met elkaar verbinden, zoals in dit onderzoek gebleken is dat paperclips, oogleden en schorpioenvissen met gelijksoortige vragen bestudeerd kunnen worden. Nadat dus, bijvoorbeeld op grond van een cultuurpedagogische discussie (zie paragraaf 1.3.), een keuze is gemaakt voor de onderwerpen die aan bod komen, kan via de perspectieven de conceptuele structuur van natuuronderwijs hier overheen worden gelegd. Als het onderwerp bijvoorbeeld ‘de schoolomgeving’ is, kunnen de perspectieven gehanteerd worden om de schoolomgeving op verschillende wijze te onderzoeken. In Tabel 1.1. is een voorbeeld gegeven van verschillende vragen die vanuit verschillende perspectieven aan hetzelfde object (een wegberm) zijn te stellen. Docenten en ontwikkelaars van lesmateriaal kunnen bewust opdrachten vanuit verschillende perspectieven formuleren, zodat eenzelfde perspectief bij verschillende onderwerpen terugkomt. Geleidelijk zijn deze opdrachten dan voor leerlingen herkenbaar te maken, en te verbinden aan eenvoudige heuristieken¹. Of het

¹ Leerlingen in het basisonderwijs kennen heuristieken bij andere vakken zoals Rekenen/wiskunde en Taalonderwijs, waar deze ook expliciet worden toegepast. Zo gebruiken leerlingen bijvoorbeeld strategieën voor begrijpend lezen en voor de aanpak van staartdelingen.

haalbaar is om meerdere perspectieven in natuuronderwijs aan bod te laten komen, en of leerlingen die uit elkaar kunnen houden, moet nog blijken. In elk geval zal het gaan om leerlijnen over meerdere leerjaren. In paragraaf 6.5 wordt een eerste aanzet gegeven voor een leerlijn voor het vormfunctieperspectief.

Een mogelijk bezwaar dat geopperd kan worden tegen het gebruik van perspectieven, is dat de leerling in het basisonderwijs vooral veel directe ervaringen moet opdoen, en dat pas op basis van die ervaringen gereflecteerd kan worden. Het gevaar van een te vroege introductie van perspectieven zou kunnen zijn dat deze dan lege theoretische hulzen worden, die tijd in beslag nemen die juist aan onderzoeksactiviteiten besteed had kunnen worden. Mijn antwoord op dit bezwaar is, dat in deze lessenreeks is gebleken dat het grootste deel van de tijd juist besteed wordt aan praktische activiteiten, en dat de nabesprekingen direct verbonden zijn met deze ervaringen. De rol van het perspectief is vooral dat het opdrachten en vragen genereert, zodat de ervaringen die leerlingen in het basisonderwijs opdoen niet alleen ad hoc plaatsvinden, maar ook gestructureerd, en deze ervaringen met elkaar verbonden kunnen worden. Daarbij hoeft de leerling zich niet steeds bewust te zijn van het perspectief dat aan de orde is, maar zij/hij krijgt daar wel geleidelijk een beeld van. Een tweede bezwaar zou dan kunnen zijn dat de vragen vanuit het perspectief niet de eigen vragen van de leerlingen zijn. Op dit bezwaar kan worden geantwoord dat vanuit een bepaald perspectief de leerling wordt geconfronteerd met ervaringen die juist vragen van de leerlingen zelf moeten uitlokken. Uiteraard moet daarbij ook ruimte blijven voor spontane ervaringen en vragen. Een te strak hanteren van perspectieven heeft inderdaad de risico's in zich van te sterke sturing en te snelle abstractie.

De vraag of perspectieven een rol kunnen spelen bij de selectie van leerstof voor natuuronderwijs kan nu als volgt worden beantwoord. Perspectieven geven op zich geen aanwijzing welke verschijnselen in natuuronderwijs aan bod zouden moeten komen. Zij geven echter wel aan welke vragen en opdrachten er aan die verschijnselen verbonden moeten worden, en geven daarmee de conceptuele structuur van het leergebied. Indirect kunnen perspectieven wel een rol spelen bij de leerstofselectie. Daar niet elk verschijnsel evenveel aangrijpingspunten biedt voor een bepaald perspectief, moeten de verschijnselen zodanig worden gekozen dat de verschillende perspectieven voldoende tot hun recht komen.

6.5 Op weg naar een nieuwe onderwijsleerstrategie

6.5.1 Leerpunten uit de uitvoering

In hoofdstuk 5 is zowel per activiteit als voor het gehele scenario besproken wat de resultaten waren. Op grond daarvan, en op grond van de discussie in paragraaf 6.3 en 6.4 kan nu worden besloten in hoeverre activiteiten kunnen worden gehandhaafd of gewijzigd dienen te worden. Tabel 6.1 geeft hiervan een overzicht.

Tabel 6.1 Conclusies ten aanzien van de afzonderlijke activiteiten van de onderwijsleerstrategie.

nr	Activiteit	Conclusies
1	Oriëntatie	Behalve een betere oriëntatie op het werken met de ontwerpersbril moeten leerlingen in brede zin worden ingeleid op het omgaan met onzekere kennis. Dit is een lange termijn doel, dat via een aparte leerlijn moet worden bereikt. De introductie van de ontwerpersbril via voorbeelden als de paperclip en de wenkbrauw kan gehandhaafd blijven. Het direct oefenen met de ontwerpersbril en het heen-en-weer denken is een goede oriëntatie op de bedoeling van de lessenreeks. Het schema van de ontwerpersbril moet vereenvoudigd, met name wat betreft de middenkolom.
2	Ontwerpen	Deze activiteit past op deze plek. Gezien de ervaringen kunnen leerlingen hierbij het verklaren van ontwerpen op natuurlijke wijze oefenen, wat een goede voorbereiding is op het analyseren van objecten.
3	Reflectie op ontwerpen	Deze activiteit was niet succesvol omdat van leerlingen hier te vroeg wordt gevraagd om te abstraheren van de ontwerpen. Het is beter om deze activiteit in te bouwen in de tweede activiteit. Het bespreken van voor- en nadelen van bepaalde vormen, materialen en constructies kan beter gekoppeld blijven aan de bespreking van voor en nadelen van bepaalde ontwerpen.
4	Leren kijken met de ontwerpersbril	Op deze plaats kan beter de analyse van de wasknijper uit het eerste scenario terugkomen, omdat daar een betere modeling van het analyseren van een ontwerp in opgenomen is. Ook hierbij aandacht besteden aan onderdelen en hun deelfuncties.
5	Zelf kijken met de ontwerpersbril	Als vervolg op de modeling kan deze activiteit gehandhaafd blijven.
6	Reflectie op de ontwerpersbril	Deze activiteit was vooral bestemd om gegevens van leerlingen te verzamelen en hoeft in deze vorm dus niet gehandhaafd te blijven. In plaats daarvan kan een opdracht worden gegeven om zelfstandig de ontwerpersbril buiten school toe te passen. De leerlingen kunnen daardoor ervaren of ze echt anders en beter hebben leren kijken. Uit de bespreking van de resultaten kan dan kort gereflecteerd worden op de ontwerpersbril
7	Levende dingen leren bekijken	Het analyseren van 1 ontwerp blijkt moeilijker te zijn dan het vergelijken van meerdere ontwerpen of het zelf ontwerpen. Deze activiteit kan dus beter naar achteren worden verplaatst. In plaats daarvan kan het biologische deel starten met de vraag naar de overlevingsvoorwaarden en de vier V's.
8	Zelf levende dingen bekijken	Hier geldt hetzelfde als voor activiteit 7; beter eerst verschillende ontwerpen vergelijken dan 1 ontwerp verklaren.
9	De vier V's	Deze activiteit heeft goed gefunctioneerd en kan worden gehandhaafd en naar voren gehaald. Wel is een uitgebreidere oefening waarin de vier V's worden toegepast.
10	Ontwerpen van de natuur	Deze activiteit heeft goed gefunctioneerd en kan worden gehandhaafd. Van belang is dat het vormfunctieperspectief ook op processen wordt toegepast, zoals vogelzang of winterslaap. Ook moet deze activiteit worden gespreid in de tijd, daar er nu in 1 les teveel onderwerpen aan bod kwamen.
11	Zelf natuur ontwerpen	Deze activiteit heeft goed gefunctioneerd en kan worden gehandhaafd.
12	Tweede reflectie op de ontwerpersbril	Analoog aan activiteit 6 kan de opdracht worden gegeven om zelfstandig buiten de school naar levende objecten te kijken met de ontwerpersbril. Ook hier kan in de rapportage en nabesprekingen worden gereflecteerd op de ontwerpersbril, en kan worden besproken in hoeverre biologische en technische objecten vergelijkbaar zijn.

6.5.2 Ordeningscriteria

Uit de ervaringen met het scenario kunnen nu conclusies worden getrokken over de meest geschikte volgorde waarin ervaringen worden aangeboden. De volgende ordeningscriteria worden daarin onderscheiden:

Eerst zelf ontwerpen, dan ontwerpen vergelijken, dan één ontwerp verklaren

Het blijkt dat vergelijken van zelf ontworpen objecten de leerlingen beter af gaat dan het vergelijken van bestaande ontwerpen, en vergelijken van meerdere ontwerpen beter gaat dan het bespreken van één ontwerp waarin vergeleken moet worden met counterfactuals. In een volgend scenario moet dus de ontwerpactiviteit voorafgaan aan de vergelijking van bestaande ontwerpen en die weer aan de bespreking van één ontwerp.

Cognitive apprenticeship weer terug in oude vorm

Het eerste scenario bevatte een effectiever en systematischer toepassing van cognitive apprenticeship dan het tweede. De veronderstelling dat de ontwerpactiviteit in het tweede scenario de ‘modeling’ (hardopdenkend voordoen) overbodig zou maken is niet uitgekomen. De ‘modeling’ van de verklaring van het ontwerp van de wasknijper met daaropvolgend het zelf analyseren van objecten, moet dus weer terugkomen in de onderwijsleerstrategie. Bovendien moeten alle activiteiten bij voorkeur meerdere malen terugkomen om de leerling de noodzakelijke oefening te geven om zelfstandig met de ontwerpersbril te kunnen werken. Het eindpunt ervan is dat de leerling zelfstandig buiten school met de ontwerpersbril gaat werken.

Eerst gesloten, dan open

Leerlingen durven sneller hypothesen te formuleren en vragen te beantwoorden als gekozen kan worden tussen gegeven alternatieven. Geleidelijk kunnen de antwoordcategorieën dan meer open worden geformuleerd.

Van bekend naar hypothetisch

Leerlingen moeten eerst leren hoe bekende vorm-functierelaties in de ontwerpersbril kunnen worden geplaatst, en daarna leren hoe zij de ontwerpersbril ook kunnen gebruiken bij het ontwikkelen van nieuwe kennis.

Eerst technische, daarna biologische verschijnselen

De resultaten geven geen reden om af te wijken van de oorspronkelijke keuze. Deze volgorde kan dus gehandhaafd blijven.

Opbouw van de ontwerpersbril

Het schema van de ontwerpersbril is in de huidige vorm te complex om te gebruiken. De leerlingen hebben geen moeite met de linker- en rechterkolom. Daarom wordt gestart met een vereenvoudigd schema waarin de middenkolom wel mondeling ter sprake komt, maar nog niet als aparte kolom wordt aangegeven (Figuur 6.1). De leerlingen vullen naar aanleiding van het werken met de bril deze verder in met vragen die hen zinvol zijn gebleken bij de vergelijking. Als uit de discussie blijkt dat leerlingen behoefte hebben aan een plek om ontwerpverklaringen te noteren, wordt de middenkolom geïntroduceerd.

Hoe ziet het eruit?	Waar dient het voor?

Figuur 6.1 Herzien schema van de ontwerpersbril.

6.5.3 Schets van een nieuwe onderwijsleerstrategie

Op basis van deze ordeningscriteria kan nu de volgende structuur worden aangegeven voor een nieuwe onderwijsleerstrategie, waarbij de stappen 1 tot en met 5 eerst voor technische, en daarna voor biologische verschijnselen worden uitgevoerd.

1. Het zelf ontwerpen vanuit gegeven functies en randvoorwaarden en bespreken van de ontwerpen
2. Het vergelijken van verschillende ontwerpen voor dezelfde functie
3. Het verklaren van een ontwerp
 - a. modellen door de leerkracht
 - b. oefenen door de leerling waarbij counterfactuals in eerste instantie door de leerkracht worden gegeven
 - c. zelfstandig toepassen op nieuwe objecten
 - d. het aanvullen van de ontwerpersbril met vragen die door de leerling als behulpzaam zijn ervaren
4. Het toepassen van de ontwerpersbril buiten school om nieuwe kennis te verzamelen en de rapportage daarover
5. Het bespreken van de ontwerpersbril

Tabel 6.2 geeft een uitwerking van deze stappen in de vorm van een schets voor een nieuwe onderwijsleerstrategie.

Hoofdstuk 6 Discussie en conclusies

Tabel 6.2 Voorstel voor een nieuwe onderwijsleerstrategie.

nr	Activiteit	Commentaar
1	Oriëntatie	Oefenen in heen-en-weer-denken met de ontwerpersbril. Zoals activiteit 1 in 2 ^e scenario met eenvoudiger versie van de ontwerpersbril.
2	Zelf ontwerpen	Ontwerpen en bespreken van een oplossing voor een gegeven probleem. Combinatie van activiteiten 2 en 3 uit het 2 ^e scenario, maar bestaande uit meerdere oefeningen, verspreid in de tijd. Zodoende kan een grotere variatie aan problemen, materialen, vormen etc. aan bod komen, en kunnen begrippen op inductieve wijze vorm krijgen. Bij de nabespreking moet nadruk worden gelegd op het onderscheiden van onderdelen met hun deelfunctie.
3	H Ontwerpen vergelijken	<i>Nieuw onderdeel:</i> Vergelijken van verschillende ontwerpen met dezelfde functie, bijvoorbeeld verschillende soorten spijkers.
4	Ontwerp verklaren	Modeling van de verklaring van een ontwerp (onderdelen met deelfuncties en vorm daarvan beschrijven, nagaan hoe het werkt en vergelijken met counterfactuals) zoals activiteit 2 uit het 1 ^e scenario.
5	Zelf kijken met de ontwerpersbril	Onder begeleiding oefenen met andere objecten, zoals activiteit 4 uit het 2 ^e scenario. Leerlingen vullen hierbij de ontwerpersbril aan op basis van ervaringen.
6	Zelf zoeken met de ontwerpersbril	<i>Nieuw onderdeel:</i> Zelfstandig toepassen van de ontwerpersbril buiten school. Klassikale rapportage over de resultaten en korte reflectie op de ontwerpersbril, waaronder de vraag of zij nu anders hebben leren kijken.
7	B Oriëntatie op overleving	De Vier V's. Zoals activiteit 9 uit het 2 ^e scenario, met uitgebreidere oefening in het zoeken van vormen bij functies en functies bij vormen. Meer aandacht voor planten.
8	O Zelf natuur ontwerpen	Ontwerpen van een dier in gegeven condities. Zoals activiteit 11 in 2 ^e scenario.
9	I Ontwerpen van de natuur S vergelijken C H	Vergelijken van verschillende ontwerpen voor dezelfde functie. Zoals activiteit 10 in 2 ^e scenario, maar voorbeelden meer spreiden in de tijd. Handhaven van gedragsvoorbeeld.
10	Ontwerp van de natuur verklaren	Modeling van de verklaring van een ontwerp. Zoals activiteit 7 in 2 ^e scenario.
11	Zelf naar de natuur kijken met de ontwerpersbril	Onder begeleiding oefenen met andere objecten. Zoals activiteit 8 in 2 ^e scenario, ontwerpersbril door leerlingen laten aanvullen op basis van ervaringen.
12	Zelf in de natuur zoeken met de ontwerpersbril	<i>Nieuw onderdeel</i> Zelfstandig toepassen van de ontwerpersbril buiten school. Klassikale rapportage over de resultaten en korte reflectie op de ontwerpersbril, waaronder de vraag of ze kunnen beschrijven hoe je door deze bril moet kijken, en of ze nog een andere bril zouden willen leren.

De structuur van deze onderwijsleerstrategie is op het oog niet erg verschillend van de onderwijsleerstrategie die in hoofdstuk 4 is gegeven. De ervaringen met die strategie wijzen echter op nog twee andere verbeterpunten: de beginsituatie en de spreiding in de tijd.

Ten eerste vragen bepaalde stappen dat de leerling met meerdere voorbeelden oefent. Dat betekent dat een stap in de onderwijsleerstrategie niet meer gelijk staat aan een les, maar meerdere lessen over een langere periode kan beslaan.

Ten tweede betekent dit dat niet alle stappen in een aaneensluitende lessenreeks kunnen worden uitgevoerd, daar deze anders veel te lang zou worden. Het is bijvoorbeeld mogelijk om tussen de activiteiten met technische verschijnselen en die met biologische verschijnselen een 'rustperiode' in te lassen. Te denken valt aan een lessenserie van ongeveer 10 lessen 'Ontwerpen' en een tweede lessenserie van eveneens 10 lessen 'Overleven'. Dit lijkt een groot aantal lessen, maar de lessen kennen leerdoelen in twee lagen: van de behandelde onderwerpen leren de leerlingen de begrippen en relaties, en tevens leren zij al doende te werken met het vormfunctieperspectief.

Ten derde kan ook al in eerdere leerjaren gestart worden met activiteiten die voorbereidend zijn voor het werken met perspectieven. Bij elk perspectief kunnen op elk niveau activiteiten worden ontwikkeld, of bestaande activiteiten in de lijn van een perspectief worden geplaatst. Thema's als 'overleven in de winter' en 'botten en spieren' zijn zodanig uit te werken dat daarin in beperkte vorm al het heen-en-weer-denken wordt geoefend en toegepast. Een ander punt dat van belang is voor de beginsituatie is dat leerlingen liefst al eerder situaties ervaren waarin meerdere antwoorden goed kunnen zijn, waarin voorspellingen moeten worden gedaan, waarin oplossingen voordelen maar ook nadelen hebben, kortom situaties die niet eenduidig zijn. Dat is niet alleen nodig voor het verwerven van perspectieven, maar voor een open houding ten aanzien van nieuwe ervaringen in het algemeen. Daarbij moet met name aandacht worden besteed aan situaties die de leerling duidelijk maken dat je aan hetzelfde object verschillende waarnemingen kunt doen.

Leerlingen bleken tijdens en na de onderzochte onderwijsleerstrategie vaak niet erg gemotiveerd om een nieuw perspectief te verwerven. De verwachting is dat dit probleem in de nieuwe onderwijsleerstrategie minder zal zijn. Ten eerste biedt de bijgestelde volgorde en oefening van activiteiten meer garantie voor succeservaringen van leerlingen. Verder is de ontwerpersbril eenvoudiger in te vullen, en is de lessenserie opgedeeld in kleinere porties. En tenslotte moet de voornaamste motivatie komen uit de ervaringen van de leerlingen wanneer zij zelfstandig buiten de school werken met de ontwerpersbril. Indien zij ervaren dat zij daardoor inderdaad meer opmerken, zal hun motivatie daarmee vanzelf groeien.

6.5.4 Leerdoelen en het analyseschema

Hoewel het analyseschema goed bruikbaar is gebleken om ontwerpdiscussies mee te analyseren, deden zich enkele knelpunten voor, waardoor het gewenst is het analyseschema aan te passen. Een eerste knelpunt dat zich voordeed, was dat bepaalde uitspraken tot meerdere coderingen konden leiden. Een tweede knelpunt was dat duidelijk verschillende uitspraken onder eenzelfde categorie vielen. En het derde knelpunt was dat het analyseschema identiek was met de leerdoelen van het vormfunctieperspectief.

Ten aanzien van het eerste knelpunt bleek bijvoorbeeld het onderscheiden van onderdelen (1.1) nauw verbonden te zijn met het onderscheiden van deelfuncties (5.1). Een tweede probleem lag in de categorie 6: 'heuristieken hanteren'. Het hanteren van heuristieken is altijd ten dienste van een ander doel, bijvoorbeeld 'verklaren hoe iets werkt'.

Bij het geven van zo'n verklaring (code 4.1.b) kan bijvoorbeeld de heuristiek van de analogie worden gebruikt 'het werkt net als' (code 6.2.1). De uitspraak moet dan met twee codes worden aangeduid (zie Protocol 5.1). Op zich is het aanduiden met twee codes geen groot probleem, maar het geeft wel aan dat de categorie van de heuristieken van andere aard is dan de overige categorieën.

Ten aanzien van het tweede knelpunt waren er twee problemen. De vraag 'Waarom zo en niet anders?' blijkt te kunnen slaan op twee soorten situaties die van de leerlingen verschillende denkprocessen vragen. Enerzijds kan deze vraag dienen om twee gegeven ontwerpen te vergelijken en proberen te verklaren waarom het ene ontwerp in de ene omgevingsconditie beter functioneert en het andere ontwerp in de andere. Dit kwam voor bij de vergelijking van verschillende vruchtvormen en schedels. In dit soort gevallen is de vraag dus eigenlijk juist 'Waarom zo en *ook* anders? Waarom niet allemaal op dezelfde manier?'. Anderzijds kan de vraag dienen om onderdelen van één ontwerp te vergelijken met counterfactuals, en zo de vorm van het ontwerp te verklaren. In het laatste geval is de vraag 'Waarom zo en niet anders?' soms een vermomde versie van de vraag 'Hoe werkt het?'. Bij de vraag waarom de benen van de wasknijper zo lang moeten zijn, ligt de verklaring bijvoorbeeld in de hefboomwerking.

Een tweede voorbeeld waarin een code op twee verschillende soorten uitspraken van toepassing is, is leerdoel 3.1.b; 'aangeven waar een kenmerk voor dient'. Hieronder kan namelijk een uitspraak vallen waarin een leerling een haar/hem bekende relatie tussen kenmerk en functie noemt, maar ook een uitspraak waarin een leerling deze relatie niet kent, maar een veronderstelling daarover formuleert. Gezien de moeilijkheden die leerlingen hebben met het uiten van veronderstellingen, is het van belang deze twee uitspraken apart van elkaar te coderen. Eenzelfde situatie doet zich voor bij leerdoel 3.2.b; 'een bestaande oplossing zoeken die bij functie Y past', en bij leerdoel 4.1.b; 'verklaren hoe iets werkt'. In al deze gevallen zou een code kunnen worden gegeven voor het aangeven van bekende relaties, en een andere code voor het *veronderstellen* van relaties. Het vormfunctieperspectief dient ook te leiden tot het zelf verwerven van nieuwe kennis. Daarom zijn veronderstellende uitspraken van belang; zij kunnen de start kunnen zijn van verder onderzoek.

Daarmee komt ook het derde knelpunt aan de orde, namelijk de relatie tussen de leerdoelen en het analyseschema, met de vraag of deze identiek moeten blijven. In paragraaf 4.2 is het vormfunctieperspectief vertaald in het leerdoel 'heen-en-weer denken'. Bij de uitwerking daarvan zijn ook alle handelingen die daar een rol in spelen, leerdoelen genoemd. Deze handelingen hebben echter alleen betekenis binnen het heen-en-weer denken. Mijn voorstel is daarom om alleen het 'heen-en-weer-denken' als leerdoel te onderscheiden, en om de onderdelen van het analyseschema aan te duiden als de afzonderlijke handelingen waaruit het 'heen-en-weer denken' is opgebouwd. Op deze wijze komt vanzelf een natuurlijk onderscheid tussen het leerdoel en het analyseschema tot stand. Het analyseschema kan dan gebruikt worden onafhankelijk van de vraag of de handelingen ook als leerdoel zijn geformuleerd.

Figuur 6.2 bevat een voorstel voor een gewijzigde versie van het analyseschema. Hierin is een tweedeling gemaakt tussen het leggen/verklaren van relaties (A) en het gebruiken van heuristieken (B). Verder is onderscheid gemaakt tussen het in kaart brengen van bekende relaties en het vinden en/of verklaren van nieuwe relaties. Bij het vinden van nieuwe relaties is het formuleren van veronderstellingen ondergebracht. Tenslotte is de groep heuristieken uitgebreid, onder andere met de vier V's.

A. Relaties aangeven en verklaren

1. Bekende relaties onderbrengen in systeembeschrijving

- 1.1 deel-geheel relaties aangeven
 - 1.1.1 onderdelen onderscheiden
 - 1.1.2 deelfuncties verbinden aan onderdelen
 - 1.1.3 relaties aangeven tussen deelfuncties en functie geheel
- 1.2 de vorm van kenmerken beschrijven
 - 1.2.1 structuur beschrijven
 - 1.2.1.1 ruimtelijke vorm benoemen
 - 1.2.1.2 materiaal benoemen
 - 1.2.1.3 beschrijven hoe onderdelen aan elkaar vastzitten
 - 1.2.2 proces beschrijven
 - 1.2.2.1 verandering/patroon in de tijd beschrijven
 - 1.2.2.2 beschrijven hoe onderdelen op elkaar inwerken
 - 1.2.2.2 interactie beschrijven tussen systeem en buitenwereld/gebruiker

2. Nieuwe relaties leggen

- 2.1 Functie van een kenmerk opsporen
 - 2.1.1 de vraag stellen "*waarvoor dient kenmerk X?.*" (type I)
 - 2.1.2 veronderstelling formuleren over de functie
 - 2.1.3 veronderstelling over de functie testen

Vorm	Functie
kenmerk →	functie?

- 2.2 Oplossing voor een functie zoeken
 - 2.2.1 de vraag stellen "*welke oplossing is er voor functie Y?.*" (type II)
 - 2.2.2 veronderstelling formuleren over welk kenmerk de oplossing vormt
 - 2.2.3 veronderstelling over het kenmerk testen
 - 2.2.4 een oplossing ontwerpen die bij functie Y past
 - 2.2.5 een ontworpen oplossing testen

Vorm	Functie
kenmerk? ←	functie

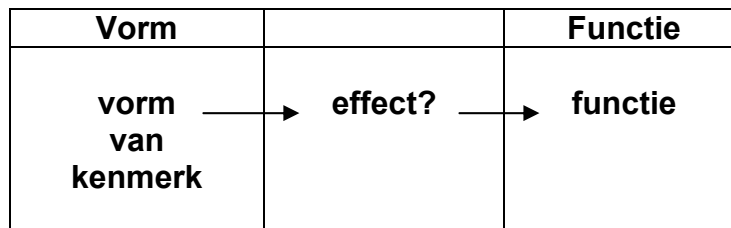
3. Relaties verklaren

3.1 de werking van X onderzoeken

3.1.1 de vraag stellen “hoe/waardoor werkt X?” (type III)

3.1.2 veronderstelling formuleren over de werking

3.1.3 veronderstelling over de werking testen



3.2 alternatieven afwegen

3.2.1 de vraag stellen “waarom heeft kenmerk X vorm A en niet vorm A’?” (type IV)

3.2.1.1 bij het vergelijken van meerdere ontwerpen voor dezelfde functie

3.2.1.2 bij het vergelijken van een ontwerp met counterfactuals

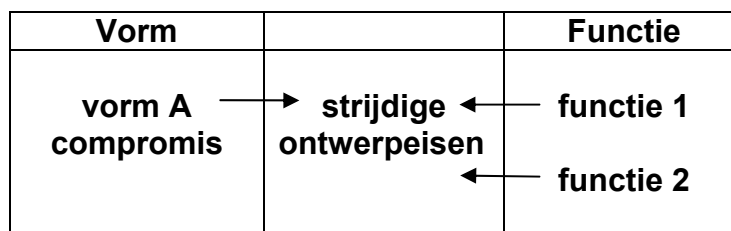
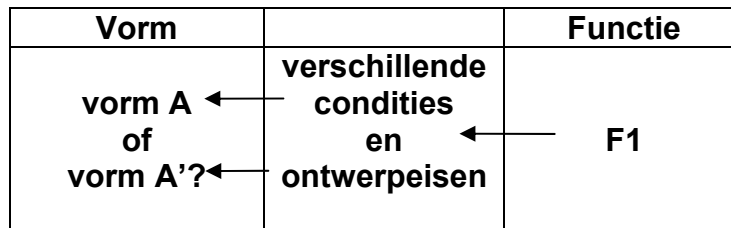
3.2.1.3 bij het vergelijken van een ontwerp wat kenmerk X niet heeft

3.2.2 voor- en nadelen van alternatieven afwegen in relatie tot

3.2.2.1 de vereisten van de gebruikscontext/het leefmilieu

3.2.2.2 de neveneffecten op andere functies (het compromis-karakter)

3.2.2.3 het bij elkaar passen van deeloplossingen



B. Heuristieken bij het leggen van nieuwe relaties en bij het verklaren van relaties

1. effect van verandering nagaan
 - 1.1 de vraag stellen “wat zou er veranderen als kenmerk X er niet zou zijn?”
 - 1.2 de vraag stellen “wat zou er veranderen als A' de vorm van kenmerk X zou zijn?”
 - 1.3 veranderingen aanbrengen in het kenmerk en testen wat er gebeurt
 2. analogieën gebruiken
 - 2.1 vorm-analogie hanteren
 - 2.2 functie-analogie hanteren
 3. herontwerpen
 - 3.1 nagaan hoe ideaal ontwerp er uit zou zien en vergelijken met bestaand ontwerp
 - 3.2 nagaan vanwege welk effect gekozen is voor een bepaalde vorm
 4. de vier V's
 - 4.1 nagaan of functie iets te maken kan hebben met een van de vier V's
 - 4.2 ontwerp verklaren vanuit compromis tussen verschillende functie-eisen
-

Figuur 6.2 Nieuw analyseschema van handelingen in het vormfunctieperspectief.

6.6 Opbrengst van dit onderzoek

6.6.1 Bijdrage aan de domeinspecifieke visie op leren en onderwijzen

In alle overzichten van sleutelbegrippen in het onderwijs in de biologie komt de relatie tussen vorm en functie voor. In dit onderzoek is de relatie tussen vorm en functie uitgewerkt als een domeinspecifieke metacognitieve strategie, aangeduid als het vormfunctieperspectief. Daarbij worden voor dit perspectief biologisch onderzoek en technisch ontwerpen als één domein beschouwd. Dat wil zeggen dat de wijze waarop deskundigen in biologisch onderzoek en technisch ontwerpen gebruik maken van de vorm-functierelatie, is geanalyseerd en beschreven in een gezamenlijk model. Hierbij is aangesloten op de analyse die Wouters heeft gemaakt van functionele verklaringen (Wouters, 1999). Het gaat bij een perspectief zowel om de vragen die hierbij een rol spelen als om de heuristieken die hierbij gebruikt worden. Eerder heeft Janssen (2000) één van deze heuristieken uitgewerkt en aangepast voor gebruik in het biologieonderwijs, i.c. ontwerpend leren. Dit onderzoek bouwt hierop voort door het gehele vormfunctieperspectief uit te werken als leerdoel voor natuuronderwijs. De kern van het vormfunctieperspectief is aangeduid als ‘heen-en-weer-denken’. Beweeglijke denkpatronen lijken kenmerkend voor de biologie en bruikbaar in de vakdidactiek. Knippels heeft het ‘jo-jo denken’ uitgewerkt als aanduiding van het op en neer gaan tussen organisatieniveaus (Knippels, 2002). Beide bewegingen passen in een vakdidactiek waarin het systeemdenken centraal staat (Boersma, 1997). Daarbinnen moet nu verder gewerkt worden aan een integratie van deze bewegingen, en kunnen ook andere perspectieven worden uitgewerkt.

Met dit onderzoek is aannemelijk gemaakt dat het in principe mogelijk is en de moeite loont om perspectieven, die door deskundigen gehanteerd worden, te vertalen naar leerdoelen. Het uitgewerkte model van het vormfunctieperspectief en de leerdoelen die op basis daarvan zijn geformuleerd kunnen beschouwd worden als een bijdrage aan een domeinspecifieke visie op leren en onderwijzen in de natuurwetenschap en techniek. Hiermee is tevens een stap gezet op weg naar een andere visie op het leergebied natuuronderwijs en de leerdoelen die daarbij horen. De conceptuele structuur die momenteel in natuuronderwijs ontbreekt, kan gestalte krijgen door te onderzoeken welke perspectieven voor leerlingen van belang zijn en deze vervolgens voor het onderwijs uit te werken.

6.6.2 Bijdrage aan materiaal- en leerplanontwikkeling

De uitwerking van het vormfunctieperspectief in hoofdstuk 2 is niet alleen van belang voor de uitwerking in natuuronderwijs op de basisschool, maar ook voor biologie, techniek en algemene natuurwetenschappen in het voortgezet onderwijs. Bovendien kan het materiaal goede diensten doen in een module over perspectieven in het opleidingsonderwijs. Het ontwikkelde scenario zelf is niet als zodanig bruikbaar als lessenserie voor het basisonderwijs. De functie van het scenario was in eerste instantie om te onderzoeken of het verwerven van een perspectief een haalbare kaart is in het basisonderwijs. In paragraaf 6.5 is toegelicht dat voor het verwerven van een perspectief een lange-termijn aanpak nodig is, wellicht gefaseerd over meerdere jaren. Toch biedt het scenario diverse materialen die ook in delen bruikbaar zijn in lessen natuuronderwijs en lessen biologie in de onderbouw van het voortgezet onderwijs. De volgende onderdelen zijn met name waardevol gebleken om nader uit te werken:

Een ontwerpdiscussie met leerlingen blijkt goed mogelijk op basis van eigen ontwerpactiviteiten. Dit geldt zowel voor technische ontwerpactiviteiten als voor het ontwerpen van een organisme zoals gedemonstreerd in activiteit 2 en 11. Leerlingen komen daarbij spontaan tot diverse categorieën van ontwerpverklaringen.

Bij het bespreken van ontwerpen in de levende natuur en het zelf ontwerpen blijken de vier V's een belangrijk hulpmiddel, zowel om vragen van vorm naar functie te categoriseren, als om oplossingen te zoeken vanuit de vier V's (activiteit 9, 10 en 11). Door bij een dierontwerp de vier V's te gebruiken, ervaren leerlingen dat verschillende functies tot tegenstrijdige ontwerp-eisen kunnen leiden. Deze vier V's zijn ook bruikbaar om organismen onderling mee te vergelijken, als richtlijn voor werkstukken over organismen, en als aandachtspunt als het gaat om onderwerpen als uitsterven of aanpassing aan diverse leefmilieu's. Via de vier V's kunnen leerlingen ook leren om planten en dieren beide te zien als organismen met vergelijkbare overlevingsproblemen. Zo kan bijvoorbeeld het toepassen van de vraag hoe een organisme zich verdedigt tegen vijanden op zowel planten en dieren, de leerling duidelijk maken dat planten meer zijn dan passieve voedselleveranciers voor mens en dier.

Het blijkt mogelijk om technische en biologische verschijnselen met eenzelfde reeks vragen uit het vormfunctieperspectief te benaderen. De vergelijking tussen biologische en technische voorbeelden is met name mogelijk bij onderdelen van technische of biologische objecten. Dit komt doordat onderdelen van zowel technische als biologische objecten ten dienste staan van het geheel. Het wordt moeilijker als functies van gehele voorwerpen of gehele organismen worden besproken. De neiging van leerlingen, om functies van

organismen vooral in relatie tot de mens te zien wordt door deze vergelijking versterkt en werkt verwarrend. Het voordeel om technische en biologische verschijnselen met dezelfde bril te bekijken is dat daardoor het systeemdenken en het gebruik van analogieën bevorderd kunnen worden, en dat leerlingen via de transfer van techniek naar biologie kunnen beseffen dat er vragen zijn die gescheiden terreinen als techniek en biologie met elkaar verbinden. Daardoor wordt ook de samenhang binnen natuuronderwijs vergroot.

Het materiaal dat gebruikt is bij activiteit 10 (vogelzang, schedels en zaden) is geschikt om met leerlingen te discussiëren over het gegeven dat elk ontwerp zowel voor- als nadelen heeft. Daarbij is dan de inbreng van de leerkracht wel nodig, omdat dit voor leerlingen een moeilijke stap is. Mits gesloten alternatieven worden aangeboden, kan de leerling over deze zaken toch een mening formuleren. Dit materiaal zou gespreid kunnen worden over meerdere lessen, daar er nu veel verschillende onderwerpen aan bod komen. Op die manier kan het aspect ‘compromis-ontwerp’ op meerdere momenten terugkomen. Ook dit aspect is zowel bij technische als biologische ontwerpen te bestuderen.

Het schema van de ontwerpersbril kan, in de hierboven voorgestelde vereenvoudigde versie, het heen-en-weer denken sturen en behulpzaam zijn bij het vastleggen van vorm-functierelaties bij zowel technische ontwerpen als bij organismen. Ook kan het schema, indien vergelijkbare activiteiten verspreid over de tijd voorkomen, een organizer zijn om de vorige activiteiten in herinnering te brengen.

6.7 Suggesties voor vervolgonderzoek

Op basis van de resultaten van dit onderzoek kan vervolgonderzoek in verschillende richtingen zinvol zijn. Ten eerste heeft dit onderzoek nog geen adequate onderwijsleerstrategie opgeleverd voor het doen verwerven van het vormfunctieperspectief, al is er in paragraaf 6.5 wel een aanzet voor gegeven. Vervolgonderzoek zal zich vooral moeten richten op de vraag of leerlingen door het verder bijgestelde scenario inderdaad meer zaken opmerken en meer vragen stellen over de dingen om hen heen. Hiertoe zou een instrument ontwikkeld moeten worden om dit voorafgaand aan en na de lessenserie te kunnen bepalen.

Ten tweede kan het onderzoek naar het vormfunctieperspectief uitgebreid worden naar andere onderwijssectoren, zoals natuuronderwijs op de pabo en biologie in het voortgezet onderwijs. Het vormfunctieperspectief dat inzetbaar is in biologie en techniek past ook bij de ontwikkeling naar meer geïntegreerd natuurwetenschappelijk onderwijs, zowel in de onderbouw van het voortgezet onderwijs als in het vak Algemene Natuurwetenschappen in de tweede fase. In het biologiedidactisch onderzoek moet nader onderzocht worden hoe het op-en-neer-denken tussen organisatieniveaus (jo-jo-denken, zie Knippels, 2002), en het heen-en-weer-denken in het vormfunctieperspectief te verbinden en te integreren zijn met het systeemdenken.

Ten derde kan worden onderzocht hoe andere perspectieven, zoals bijvoorbeeld eenheid en verscheidenheid, op vergelijkbare wijze zijn uit te werken en te vertalen zijn in leerdoelen. De vraag of perspectieven als leerdoel een rol kunnen gaan spelen in natuuronderwijs, kan niet alleen op basis van één perspectief worden beantwoord. Het is ook de vraag of leerlingen meerdere perspectieven naast elkaar kunnen hanteren.

Ten vierde kan een nog breder terrein worden betreden door aansluiting te zoeken bij onderzoeken dat betrekking heeft op metacognitie en epistemologische opvattingen van

Hoofdstuk 6 Discussie en conclusies

kinderen, zoals het project filosoferen met kinderen (Rondhuis, in voorbereiding). De vrijwel onbeperkte toegang tot informatie die kinderen tegenwoordig hebben, maakt de noodzaak des te groter meer te weten over de manier waarop leerlingen denken over kennis en over leren, en over de manier waarop zij kunnen leren hun leerproces te sturen en erover te communiceren.

Literatuurlijst

Literatuurlijst

- American Association for the Advancement of Science (1993). *Benchmarks for science literacy*. New York: Oxford University Press.
- Adey, P. & Shayer, M. (1994). An exploration of long-term far-transfer effects following an extended intervention program in high school science curriculum. *Cognition and Instruction, II*, I, 1-29.
- Allen, C. & Bekoff, M. (1995)*. Biological functions, adaptation, and natural design. *Philosophy of Science*, 62, 609-622.
- Allen, C., Bekoff, M. & Lauder, G. (1998). *Nature's purposes*. Cambridge MA: MIT press.
- Ayala, F.J. (1970). Teleological explanations in evolutionary biology. *Philosophy of Science*, 37, 1-15.
- Baird, J.R. (1986). Improving learning through enhanced metacognition: a classroom study. *European Journal of Science Education*, 8(3), 263-282.
- Baird, J.R. & Mitchell, I.J. (Eds.) (1986). *Improving the quality of teaching and learning: an Australian case study*. The PEEL Project, Melbourne Monash University.
- Barlow, N. (Ed.) (1958). *The autobiography of Charles Darwin*. Londen: Chapman.
- Basalla, G. (1988). *The evolution of technology*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Beckner, M. (1968). *The biological way of thought*. Berkeley: University of California Press.
- Besluit Kerndoelen Basisonderwijs (1993). Staatsblad van het Koninkrijk der Nederlanden, 1993, nr. 264.
- Besluit Kerndoelen Basisonderwijs (1998). Staatsblad van het Koninkrijk der Nederlanden, 1998, nr. 354.
- Biologische Raad (2003). *Biologieonderwijs: een vitaal belang*. Amsterdam: KNAW.
- Black, P., Osborne, J. & Simon, S. (1997). Concepts in the Primary Science Curriculum. In: Härnqvist, K. & Burgen, A. (Eds.), *Growing up with science, developing early understanding of science*. London: Kingsley.
- Blandow, D. (1993a). *Elements of technology education*. Inaugurele rede Technische Universiteit Eindhoven.
- Blandow, D. (1993b). Innovation and design for developing technological capabilities in general education. In: De Vries M.J., Cross N., & Grant D.P. (Eds.), *Design methodology and relationships with science*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Bock, W. & von Wahlert, G. (1965)*. Adaptation and the form-function complex. *Evolution*, 19, 269-299.
- Bodenheimer, F.S. (1958). *The history of biology: an Introduction*. London: Dawson & Sons Ltd.
- Boekaerts, M. & Simons, P.R.J. (1995). *Leren en Instructie*. Assen: Van Gorcum.
- Boersma, K.Th. (1995). *Cultuurpedagogische argumentaties over aardrijkskunde in het basisonderwijs*. Enschede: SLO.
- Boersma, K.Th. (1997). *Systeemdenken en zelfsturing in het biologieonderwijs*. Oratie Universiteit Utrecht.
- Boersma, K.Th. & Schermer, A. (2001). Ontwikkeling van een nieuw biologieprogramma in de 21^e eeuw. *Tijdschrift voor Didactiek der β -wetenschappen*, 18, 1, 19-40.
- Boersma, K.Th., Knippels, M.C.P.J., Verhoeff, R.P., Waarlo, A.J. & Van Weelie, D. (2002). *The contribution of developmental research to the improvement of science education*. Paper IPN/SYG symposium 9-11 mei te York.
- Both, C. (1985a). Natuur Milieu Techniek Katern 1: *De natuur van natuuronderwijs, een visie in ontwikkeling*. Enschede: SLO.
- Both, C. (1985b). Natuur Milieu Techniek katern 2: *De natuur van natuurwetenschap en natuuronderwijs in de basisschool*. Enschede: SLO.
- Both, C. (1996). *Wereldoriëntatie voor Jenaplanscholen*. Enschede: SLO.
- Bronneman-Helmers, H.M. m.m.v. C.G.J.Taes (1999). *Scholen onder druk; op zoek naar de taak van de school in een veranderende samenleving*. Den Haag: Sociaal Cultureel Planbureau.

- Bruner, J.S. (1963). *The process of education*. New York: Vintage Books.
- Bruner, J.S. (1996). *The culture of education*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Buddingh', J. (1997). *Regulatie en homeostase als onderwijsthema: een biologie-didactisch onderzoek*. Utrecht: CD-β Press.
- Bürdek, B.E. (1996). *Design-geschiedenis, theorie en praktijk van de produktontwikkeling*. Den Haag: Ten Hage & Stam.
- Cappers, R.T.J., Notté, H.W. & Wagenaar, H.B. (1995). *Domeinbeschrijving wereldoriëntatie*. PPN-Werkdocument 41. Arnhem: Cito.
- Carey, S. (1985). *Conceptual change in childhood*. Cambridge: MIT Press.
- Carlsen, W.S. (1993). Teacher knowledge and discourse control: Quantitative evidence from novice biology teachers' classrooms. *Journal of Research in Science Teaching*, 30, 5, 471-481.
- Charlton, W. (1970). *Aristoteles' Physics Book I and II. Translated with introduction and notes by W.Charlton*. Oxford: Clarendon Press.
- Chatterjee, S. (1997). *The rise of birds-225 million years of evolution*. Baltimore/London: John Hopkins University Press.
- Collins, A., Brown, J.S. & Newman, S.E. (1989). Cognitive apprenticeship: teaching the crafts of reading, writing, and mathematics. In: Resnick, L.B. (Ed.) *Knowing, learning, and instruction: Essays in honor of Robert Glaser*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates.
- Collins, A. & Ferguson, W. (1993). Epistemic forms and epistemic games: structures and strategies to guide inquiry. *Educational Psychologist*, 28, 1, 25-42
- Commissie Evaluatie Basisonderwijs (1994). *Zicht op kwaliteit*. Den Haag: SDU
- Commissie Kerndoelen Basisonderwijs (2002). *Verantwoording delen. Herziening van de kerndoelen basisonderwijs met het oog op beleidsruimte voor scholen*. Zoetermeer: OC&W.
- Conijn, P. & Uijlings-Schuurmans, M. (zonder jaartal). *De School en haar fascinerende leeromgeving*. Assendelft: De Akelei.
- Craig, E. (Ed.) (1998). *Routledge encyclopaedia of philosophy*. London: Routledge.
- Craver, C.F. (2001). Role functions, mechanisms, and hierarchy. *Philosophy of Science*, 68, 53-74
- Cross, N. (Ed.) (1984). *Developments in Design Methodology*. Chichester: John Wiley & Sons.
- Cross, N. (1989). *Engineering design methods*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd
- Cummins, R. (1975)*. Functional analysis. *Journal of Philosophy*, 72, 741-765.
- Dalhuizen, L, Storck, E. & Walhain, J. (Eds.) (1998). *Syllabus didactiek geschiedenis*. Leiden: Interfacultair Centrum voor Lerarenopleiding, Onderwijsontwikkeling en Nascholing.
- Damen, V.A. (1985). *Theorievorming rond het concept van probleemgeoriënteerd, toekomstgericht biomaatschappelijk onderwijs*. Proefschrift Universitaire Instelling Antwerpen.
- De Hullu, E. (2002). Biologisch denken bestaat niet. *Niche*, 33, 4, 11-13.
- Dennett, D. (1995). *Darwin's dangerous idea. Evolution and the meanings of life*. New York: Simon & Schuster.
- Dennett, D. (1996). *Kinds of minds*. London: Weidenfeld & Nicolson.
- De Vaan, E. en Marell, J. (2000). *Praktische didactiek voor natuuronderwijs*. Bussum: Coutinho.
- De Vries, B. & Van der Meij, H. (2002). Communicatie en ontwerpnd leren: lezen, praten en schrijven tijdens het ontwerpen van een artefact. *Paper voor de Onderwijs Research Dagen*, 2002, 29-31 mei., Antwerpen.
- De Vries, M.J. (1995a). Kwantitatieve aspecten van QFD; Zinvol rekenen met QFD. In: Sarlemijn, A. en Boddendijk H.G. (Eds.), *Producten op maat, QFD als gids bij productcreaties*. Amsterdam: Boom.
- De Vries, M.J. (1995b). Samenspel in kwaliteit; de inbedding van QFD in het geheel van kwaliteitsmethodieken. In: Sarlemijn, A. en Boddendijk H.G. (Eds.), *Producten op maat, QFD als gids bij productcreaties*. Amsterdam: Boom.

Literatuurlijst

- De Vries, M.J. & Tamir, A. (Eds.) (1997). *Shaping concepts of technology, from philosophical perspective to mental images*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- De Vries, M.J. (1999). Technische systemen brengen systeem in de techniek. *Techniekkoeier*, 49, .
- Diederer, J.H.B. (1975). *The subcommissural organ and Reissner's fibre in Rana and their relationship with the pineal complex*. Proefschrift Rijksuniversiteit Utrecht
- Driver, R. (1988). Changing conceptions. *Tijdschrift voor Didactiek der β -wetenschappen*, 6, 3, 161-198.
- Driver, R., Guesne, E. & Tiberghien, A. (1985). *Children's ideas in science*. Open University Press.
- Duschl, R. Hamilton, R.J. & Grandy, R.E. (1992). Psychology and epistemology: match or mismatch when applied to science education? In: Duschl, R. & Hamilton, R.J. (Eds.) *Philosophy of science, cognitive psychology, and educational theory and practice*. Albany: State University of New York Press.
- Eder, W.E. (1993). Science in engineering, one component of the science of engineering design. In: De Vries M.J., Cross N., en Grant D.P. (Eds.), *Design methodology and relationships with science*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers
- Elliott, S., Tait, N.N. & Briscoe, D.A. (1993). A pheromonal function for the crural glands of the Onychophoran *Cephalofovea tomahmontis* (Onychophora: peripatoidae). *Journal of Zoology* (London), 231: 1-9
- Ellis, R.J., Laskey, R.A. & Lorimer, G.H. (1993). *Molecular chaperones*. London: Chapman & Hall
- Engestrom, Y. & Hedegaard, M. (1984). Teaching theoretical thinking in elementary school: The use of models in history/biology. In: Bol, E., Haenen, J.P.P. & Wolters, M.A. (Eds.). *Education for cognitive development. Proceedings of the Third International Symposium on Activity Theory*. 's Gravenhage: SVO
- Galston, A.W. (1997). *Levensprocessen van planten*. Beek: Segment.
- Gans, C. (1988)*. Adaptation and the form-function relation. *American Zoologist*, 28, 681-697.
- Glynn, S.M. & Duit, R. (1989). Teaching science with analogies. In Glynn, S.M. & Duit, R. (Eds.). *Learning science in the schools; research reforming practice*. Mahwah: Erlbaum.
- Goffree, F. (1982). *Wiskunde & Didactiek voor aanstaande leraren basisonderwijs*. Groningen: Wolters-Noordhoff.
- Goossens, M., Jacobse, A. & Van Onna, J. (1995). *Thuis in een wereld van beelden*. Enschede: SLO
- Gould, S.J. & Lewontin, R.C. (1979). The spandrels of San Marco and the Panglossian paradigm: a critique of the adaptationist programme. In: Maynard Smith, J. & Holliday, R. (Eds.). *The evolution of adaptation by natural selection*. London: Royal Society of London.
- Gould, S.J. & Vrba, E.S. (1982)*. Exaptation—a missing term in the science of form. *Paleobiology*, 8, 4-15.
- Grant, D.P. (1993). Housing location for low-income residents: an architectural case study of simulating conflicts of interest and generating compromise proposals. In: De Vries, M.J., Cross, N., en Grant, D.P. (Eds.), *Design methodology and relationships with science*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers
- Gravemeijer, K.P.E. (1994). *Developing realistic mathematics education*. Utrecht: CD- β Press.
- Harlen, W. (1997). *The teaching of science in primary schools*. Londen: David Fulton Publishers.
- Harlen, W. (2001). Research in primary science education. *Journal of Biological Education*, 35, 2, 61-65.
- Hennessy, S. (1993). Situated cognition and cognitive apprenticeship: Implications for Classroom Learning. *Studies in Science Education*, 22, 1-41.
- Hennessy, S. & Murphy, P. (1999). The potential for collaborative problem solving in design and technology. *International Journal of Technology and Design Education*, 9, 1-36.

- Hofer, B.K. & Pintrich, P.R. (1997). The development of epistemological theories: beliefs about knowledge and knowing and their relation to learning. *Review of Educational Research* (Spring) 1997, 67, 1, 88-140.
- Hooykaas, R. (1976). *Geschiedenis der natuurwetenschappen*. Utrecht: Bohn, Scheltema en Holkema.
- Imelman, J.D. (1994). 'Sociale Wereldoriëntatie: een dubieus programma'. In: Van Weerden, J. (Ed.), Verslag van de conferenties Balans van het Wereld-oriëntatieonderwijs aan het einde van de basisschool. *PPON-Werkdocument* 39. Arnhem: Cito.
- Inspectie van het Onderwijs (1993). *Natuuronderwijs, nader bezien*. Den Haag: SDU.
- Jacobs-Scheper, A. (2001). Het menselijk lichaam in perspectief. *Niche*, 32, 4-7.
- Jansen, A., Pronk, H. & van der Sluijs, J. (1996). *Aardrijkskunde & Didactiek 2: Basisstof*. Groningen: Wolters-Noordhoff.
- Jansen, W.F. (1973). *De saccus vasculosus en de regulatie van de samenstelling van de liquor cerebrospinalis*. Proefschrift Rijksuniversiteit Utrecht.
- Janssen, F. (1999). *Ontwerpend leren in het biologieonderwijs. Uitgewerkt en beproefd voor immunologie in het voortgezet onderwijs*. Utrecht: CD-β Press.
- Janssen, F. (2000). Biologie in perspectief. *NVOX*, 6, 283-286.
- Janssen, F. & Jacobs-Scheper, A. (2001). Waar is de vakdocent in het studiehuis gebleven? *NVOX*, 4, 183-188.
- Janssen-Vos, F. (1990). *Basisontwikkeling*. Assen: Van Gorcum.
- Kähler, H. (1991). Anpassung-Angepasstheit. *Praxis der Naturwissenschaften-Biologie* 7, 40.
- Kamer-Peeters, T. (1991). *Natuuronderwijs in grote lijnen*. Enschede: SLO.
- Kamp, M.J.A. (2000). *Centrale concepten in het curriculum. Het voorbeeld homeostase in het curriculum biologie van de bovenbouw VWO*. Proefschrift Katholieke Universiteit Nijmegen.
- Kamp, M.J.A. (2002). Biologisch denken bestaat wel. *Niche*, 33, 4, 15-18.
- Kamp, M. & Boersma, K.Th. (2001). Biologische sleutelbegrippen. *Niche*, 32, 9-12.
- Knippels, M.C.P.J. (2002). *Coping with the abstract and complex nature of genetics in biology education*. Utrecht: CD-β Press.
- Knuver, J.W.M., Doolaard, S. m.m.v. C.Matthijssen (1997). *Rekenen-wiskunde en natuuronderwijs op de basisschool; Nederlands aandeel in TIMMS populatie 1*. Enschede: Onderzoek Centrum Toegepaste Onderwijskunde.
- Koningsveld, H. (1976). *Het verschijnsel wetenschap*. Meppel: Boom.
- Lewin, B. (1983). *Genes*. New York: Wiley & Sons.
- Lewontin, R.C. (1978). Adaptation. *Scientific American*, 239, 3, 156-169.
- Lovelock, J.E. (1979). *Gaia*. Oxford: Oxford University Press.
- Lijnse, P.L. (1995). 'Developmental research' as a way to empirically based 'didactical structure' of science. *Science Education*, 79, 189-199.
- Mahner, M. & Bunge, M. (2001). Function and functionalism: a synthetic perspective. *Philosophy of Science*, 68, 75-94.
- Maissan, J. & Simons, J. (1995). *In vogelvlucht*. Tilburg: Zwijsen.
- Marell, J. (1990). *Natuuronderwijs op de PABO*. Enschede: SLO.
- Margadant-van Arcken, M. (1990). *Groen verschieet. Natuurbeleving bij acht- tot twaalfjarige kinderen*. 's Gravenhage: SDU.
- Mayr, E. (1961). Cause and effect in biology. *Science*, 134, 1501-1506.
- Mayr, E. (1974). The multiple meanings of teleological. Boston Studies in the Philosophy of Science 14:91-117. In: Mayr, E. (1988). *Towards a new philosophy of biology*. Cambridge MA: The Belknap Press of Harvard University Press.

Literatuurlijst

- Mayr, E. (1983). How to carry out the adaptationist program? *The American Naturalist* 121: 324-333.
In: Mayr, E (1988). *Towards a new philosophy of biology*. Cambridge MA: The Belknap Press of Harvard University Press.
- Mayr, E. (1997). *This is biology: the science of the living world*. Cambridge MA: Harvard University Press.
- Nagel, E. (1971)*. Teleology revisited. *Journal of Philosophy*, 76, 261-301.
- National Research Council (1996). *National Science Education Standards*. Washington: National Academic Press.
- Neerincx, T. (1997). Vormen van adaptatie. *Bull.Onderw.Biol.*, 28, 171-175.
- Norman, D.A. (1998). *The design of everyday things*. Londen: The MIT Press.
- Novak, J.D. & Gowin, R. (1984). *Learning how to learn*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Onderwijsraad (1999). *Zeker weten. Leerstandaarden als basis voor toegankelijkheid*. Den Haag: Onderwijsraad.
- Onderwijsraad (2001). *De basisvorming. Aanpassing en toekomstbeeld. Voorstellen voor de korte termijn en een verkenning voor de lange termijn*. Den Haag: Onderwijsraad.
- Orian, G.H. & Pearson, N.E. (1978). On the theory of central place foraging. In: D.H.Horn, R.Mitchell & G.R.Stairs (Eds.). *Analysis of ecological systems*. Columbus: Ohio State University Press.
- Perkins, D.N. (1997). Epistemic games. *Int. Journal of Educ. Research*, 27, 49-62.
- Petroski, H. (1993). *The evolution of useful things*. Londen: Pavilion Books.
- Ploegmakers, B., Bekker-Holtland, A. en Smits, J. (Eds) (1994). *Techniek in de Basisvorming*. Bussum: Coutinho.
- Posner, G.J., Strike, K.A., Hewson, P.W. & Gertzog, W.A. (1982). Accomodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 16, 3, 355-368.
- Procesmanagement Lerarenopleidingen (1998). *Gemeenschappelijk curriculum PABO*. Den Haag: PML.
- Projectgroep Leerplanontwikkeling Basisschool (1986). *Wat krijgen ze op de basisschool? Een kijk op doelen en inhoud van het basisonderwijs in het schoolwerkplan. Enkele kennisgebieden, bevordering van gezond gedrag, en verkeer*. Enschede: SLO.
- Projectgroep Natuuronderwijs voor de Basisschool (1985). *Natuuronderwijs in grote lijnen; experimentele versie*. Enschede: SLO.
- Projectgroep Sociale Wereldoriëntatie (1984). *'Zo mogelijk in samenhang'. Doel, structuur en inhoud van sociale wereldoriëntatie*. Enschede: SLO.
- Raamleerplan Montessori-basisonderwijs (1983). *Kosmische opvoeding en kosmisch onderwijs*. Vereniging de Samenwerkende Landelijke Pedagogische Centra.
- Regeling examenprogramma geschiedenis en staatsinrichting (1995). *Uitleg O&W-regelingen, 1995-2*.
- Reigeluth, C. (1987). *Instructional theories in action: Lessons illustrating selected theories and models*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Resnik, D.B. (1995). Functional language and biological discovery. *Journal for General Philosophy of Science*, 26, 119-134.
- Reygel, P.C.F. (1997). *Het thema 'reproductie' in het schoolvak biologie*. Utrecht: CD-β Press.
- Roegholt, S. (1995). *Meerperspectief onderwijs*. Proefschrift Vrije Universiteit Amsterdam.
- Rondhuis, T. & Van der Leeuw, K. (2000). Performance and progress in Philosophy: an attempt at operationalisation of criteria. *Teaching Philosophy*, 23, maart 2000.
- Rondhuis, T. (in voorbereiding). *Philosophical talent*. Proefschrift Universiteit Utrecht.
- Roozenburg, N.F.M. & Eekels, J. (1991). *Product ontwerpen, structuur en methoden*. Utrecht: Lemma B.V.
- Rosenberg, A. (1985). *The structure of biological science*. Cambridge: Cambridge University Press.

- Rudwick, M.J.S. (1964)*. The inference of function from structure in fossils. *British Journal for the Philosophy of Science*, 15, 27-40.
- Ruse, M. (1973). *The philosophy of biology*. Atlantic Highlands, N.J.: Humanities Press.
- Russell, E.S. (1916). *Form and function*. London: John Murray, herdruk University of Chicago 1982.
- Sarlemijn, A. (1993). Designs are cultural alloys, 'STeMPJE' in design methodology. In: De Vries, M.J., Cross, N., & Grant, D.P. (Eds.). *Design methodology and relationships with science*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Sarlemijn, A. & Boddendijk H.G. (Eds.) (1995). *Produkten op maat, QFD als gids bij productcreaties*. Amsterdam: Boom.
- Sarlemijn, A. (1995). Methodologie van technologie-management: QFD als instrument. In: Sarlemijn, A. en Boddendijk, H.G. (Eds.), *Produkten op maat, QFD als gids bij productcreaties*. Amsterdam: Boom.
- Schroedinger, E. (1944). *What is life?* Cambridge: Cambridge University Press.
- Schaefer, G. (1990). Die Entwicklung von Lehrplänen für den Biologieunterricht auf der Grundlage universeller Lebensprinzipen. *Der Mathematische und Naturwissenschaftliche Unterricht* 43/8, 471-480.
- Schwab, J.J. (Ed.) (1963). *Biology teachers' handbook*. New York: Wiley.
- Siegel, S. (1956). *Nonparametric statistics for the behavioral sciences*. Tokyo: McGraw-Hill Kogakusha Ltd.
- Simons, P.R.J. & Verschaffel, L. (1992). Transfer: Onderzoek en onderwijs. *Tijdschrift voor Onderwijsresearch*, 17, 3-16.
- SLO (1995). *Basisdoelen NME*. Enschede: SLO.
- SLO (1993). Bouwstenen voor de basisvorming. Een leerplan techniek. Groningen: Wolters-Noordhoff.
- Sober, E. (1993). *Philosophy of biology*. Oxford: Oxford University Press.
- Spillers, W.R. & Newsome, S.L. (1993). Engineering design, conceptual design, and design theory; a report. In: De Vries, M.J., Cross, N., & Grant, D.P. (Eds.), *Design methodology and relationships with science*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Spiro, R.J., Feltovich, P., Coulson, R.L. & Anderson, D. (1989). Multiple analogies for complex concepts: antidotes for analogy induced misconception in advanced knowledge acquisition. In: Vosniadou, S. & Ortony, A. (Eds.). *Similarity and analogical reasoning*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Steadman, Ph. (1979). *The evolution of designs. Biological analogy in architecture and the applied arts*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Theunissen, B. en Visser, R.P.W. (1996). *De wetten van het leven*. Baarn: Ambo.
- Thornburg, P.H. & Thornburg, D.D. (1989). *The thinkers toolbox. A practical and easy approach to creative thinking*. Palo Alto: Dale Seymour Publications.
- Tijssen, J. (Red.) (2002). *Natuuronderwijs voor de basisschool. Een domeinbeschrijving als resultaat van een cultuurpedagogische discussie*. Arnhem: Cito.
- Tinbergen, N. (1963). On aims and methods of ethology. *Zeit. Tierpsych.*, 20, 410-433.
- Van den Akker, J.J.H. (1988). *Ontwerp en implementatie van natuuronderwijs*. Proefschrift Universiteit Twente. Lisse: Swets & Zeitlinger.
- Van den Berg, E. (1994). De voorbereiding van PABO-studenten op het geven van natuuronderwijs. *Tijdschrift voor didactiek der β -wetenschappen*, 12, 58-75.
- Van den Berg, E. (1996). *Effects of inservice education on implementation of elementary science*. Enschede: Proefschrift Universiteit Twente.
- Van Harte, M. & Kwikkel, N. (2002). *Pabo + Stichting Veldwerk Nederland = ?*. Apeldoorn: Stichting Veldwerk Nederland.

Literatuurlijst

- Van Keulen, H. (1998). Ontwerpen van ontwerponderwijs. *Onderzoek van Onderwijs*, December 1998, 59-62.
- Van Oers, H.J.M. (1987). *Activiteit en begrip: proeve van een handelingspsychologische didactiek*. Amsterdam: VU Uitgeverij.
- Van Oers, H.J.M. (1995). Cultuuroverdracht als reconstruerende activiteit. *Pedagogisch Tijdschrift*, 20, 263-275.
- Van Parreren, C.F. (1983). *Ontwikkelen onderwijs*. Apeldoorn: Walraven.
- Van Weerden, J.(Red.) (1993). *Balans van het wereldoriëntatieonderwijs aan het einde van de basisschool; Uitkomsten van de eerste peiling wereldoriëntatie einde basis onderwijs*. Arnhem: Cito.
- Vollebregt, M.J. (1998). *A problem posing approach to teaching an initial particle model*. Utrecht: CD-β Press.
- Von Bertalanffy, L. (1968). *General system theory*. New York: George Braziller.
- Von Uexküll, J. (1928). *Theoretische biologie*. Berlin: Springer.
- Voogt, P.A. & Fockens, F.H. (1996). Riet, onopvallend maar.... Een mechanisch wonder! *NVOX*, 22, 348-353.
- Vosniadou, S. & Brewer, W.F. (1987). Theories of knowledge restructuring in development. *Review of Educational Research*, 57, 1, 51-67.
- Vosniadou, S. (1989). Analogical reasoning in knowledge acquisition. In Vosniadou, S. & A. Ortony (Eds.). *Similarity and analogical reasoning*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Vosniadou, S. & Ortony, A. (1989). Similarity and analogical reasoning: a synthesis. In Vosniadou, S. & Ortony, A. (Eds.). *Similarity and analogical reasoning*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Vosniadou, S. (1997). On the development of the understanding of abstract ideas. In: Härnqvist, K. & Burgen, A. (Eds.), *Growing up with science, developing early understanding of science*. London: Kingsley.
- Wagenaar, H.B. en Notté, H.W. (1993). Onzinnige kerndoelen voor wereldoriëntatie. *JSW*, 77, 23-35.
- Wagenaar, H.B. (1994). *Ontwikkeling van een domeinbeschrijving voor wereldoriëntatie op basis van een cultuurpedagogische discussie*. Arnhem: Cito.
- Watson, J.D. (1968). *The double helix*. New York: Atheneum.
- Weibel, E.R., Richard Taylor, C. & Bolis, L. (1998). *Principles of animal design*. Cambridge: Cambridge University Press.
- White, R.T. & Gunstone, R.F. (1989). Metalearning and conceptual change. *International Journal of Science Education*, 11, 577-586.
- Wouters, A. (1999). *Explanation without a cause. Verklaren zonder oorzaken te geven*. Utrecht: Zeno.
- Wijnstra, J.M. (1999). Balans van het wereldoriëntatieonderwijs aan het einde van de basisschool 2. *PPON-reeks 12*. Arnhem: Cito.
- Wright, L. (1973)*. Functions. *Philosophical Review*, 82, 139-168.
- Yin, R.K. (1988). *Case study research: design and methods*. Newbury Park, London, New Delhi: Sage Publications.
- Zeiss, F. (1995). *Natuurlijke historiën*. Amsterdam: Boom.
- Zeiss, F. (1997). Adaptatie verklaard; historische visies op aangepastheid. *Bull.Onderw.Biol.*, 28, 171-174.

de met een * aangemerkte literatuur is gebundeld in

Allen, C, Bekoff, M en Lauder, G. (Eds.) (1998). *Nature's purposes*. Cambridge MA: MIT press

Bijlagen

Bijlage 1. Het scenario

SCENARIO 'LEREN KIJKEN DOOR DE ONTWERPERSBRIL'

Activiteit 1.	ORIENTATIE	p. 182
Activiteit 2.	ONTWERPEN	p. 184
Activiteit 3.	REFLECTIE OP ONTWERPEN	p. 186
Activiteit 4.	LEREN KIJKEN MET DE ONTWERPERSBRIL	p. 187
Activiteit 5.	ZELF KIJKEN MET DE ONTWERPERSBRIL	p. 189
Activiteit 6.	REFLECTIE OP DE ONTWERPERSBRIL	p. 190
Activiteit 7.	LEVENDE DINGEN LEREN BEKIJKEN	p. 192
Activiteit 8.	ZELF LEVENDE DINGEN BEKIJKEN	p. 193
Activiteit 9.	DE VIER V's	p. 194
Activiteit 10.	ONTWERPEN VAN DE NATUUR	p. 197
Activiteit 11.	ZELF NATUUR ONTWERPEN	p. 199
Activiteit 12.	TWEEDE REFLECTIE OP DE ONTWERPERSBRIL	p. 200

Activiteit 1. ORIENTATIE

Plaats binnen het scenario

In de eerste activiteit van het scenario wordt de leerling duidelijk gemaakt dat ze gaan leren kijken als een ontwerper. Dit wordt gedemonstreerd aan de hand van de paperclip en de wenkbrauw. Hierbij wordt uit de voorbeelden duidelijk dat ook biologische verschijnselen op deze manier bekeken kunnen worden. Het vormfunctieperspectief (VFP) wordt bij de leerlingen geïntroduceerd als 'ontwerpersbril', en verder uitgewerkt als schema.

Leerdoelen:

1. De leerlingen kunnen aangeven dat de lessen gaan over een speciale manier van kijken.
2. De leerlingen kunnen de onderdelen van de ontwerpersbril benoemen
3. De leerlingen realiseren zich dat er veel dingen in hun omgeving zijn waar ze gebruik van maken, zonder stil te staan bij het ontwerp ervan.

Ervaring met handelingen uit het VFP:

Vormen beschrijven

2.1.1 ruimtelijke vorm beschrijven

2.2 processen beschrijven

Relatie leggen tussen kenmerk en functie:

3.1.a de vraag stellen 'Waarvoor dient kenmerk X?'

3.1.b aangeven waar een kenmerk voor dient

Vorm-functierelaties verklaren

4.1.a de vraag stellen 'Hoe werkt het?'

4.1.b.1 verklaren hoe iets werkt via het effect van de ruimtelijke vorm

4.2.a de vraag stellen 'Waarom heeft kenmerk X vorm A en niet vorm A?'

Gepland leerproces Activiteit 1.

(Zie ook de werkbladen 1 en 2 in Bijlage 2)

Stap 1. De leerlingen luisteren naar het verhaal. Zij realiseren zich dat mensen op verschillende wijze naar de omgeving kunnen kijken en dat deze lessenreeks daarover gaat.

Stap 2. De leerlingen denken na over de structuur van de paperclip en de wenkbrauw via het uit het hoofd tekenen van deze voorwerpen.

Stap 3. Zij bekijken en vergelijken vervolgens enkele tekeningen van medeleerlingen waarbij zij de tekeningen beoordelen via redeneringen over de relatie tussen vorm en functie (4.1.b, 4.2.a/b). Hierbij hanteren zij impliciet al handelingen van het VFP. Ook ervaren zij hoe hun waarneming scherper wordt door de functie erbij te betrekken. Zij realiseren zich dat bij een ogenschijnlijk simpel ontwerp als een paperclip elk detail van belang is.

Rol van de leerkracht

Stap 1. De leerkracht vertelt een verhaal waarin drie personen luisteren naar de geluiden om hen heen en daar alledrie verschillende informatie uit halen. De leerkracht geeft aan dat kennis en interesse maken dat mensen op verschillende wijze waarnemen, en dat de lessenreeks zal gaan over een speciale manier van kijken: "de ontwerpersbril". Het bordschema van werkblad 1 wordt geïntroduceerd.

Stap 2. De leerkracht geeft de opdracht om zonder voorbeeld een paperclip en een wenkbrauw te tekenen op werkbladen met het schema van de ontwerpersbril.

Stap 3. Daarna zet de leerkracht enkele paperclip-tekeningen op het bord en vraagt wat de leerlingen ervan vinden. De leerkracht leidt de discussie en noteert de opmerkingen in de betreffende onderdelen van het schema. Zij toont voorbeelden van octrooittekeningen van paperclips.

Stap 4. de leerlingen denken na over andere manieren om papier vast te maken. Zij realiseren zich dat voor eenzelfde functie vaak meerdere oplossingen zijn, waarbij de keuze van de beste oplossing afhangt van de gebruiksccontext(4.2.b).

Stap 5. De leerlingen denken na over de functie van de wenkbrauw. Vanuit deze functie beoordelen zij de tekeningen en realiseren dat de functie bepaalde ontwerpeisen stelt. Zij beseffen tevens dat bepaalde structuren meerdere functies kunnen hebben.

Stap 6. De leerlingen realiseren zich dat zij een bepaald type redenering en waarneming hebben gehanteerd, die zowel op ontworpen voorwerpen als op biologische verschijnselen van toepassing is.

Stap 4. De leerkracht vraagt welke andere manieren er zijn voor dezelfde functie, en ordent de antwoorden weer in het schema van de ontwerpersbril.

Stap 5. Vervolgens komt de wenkbrauw aan de orde. Ook hier komen diverse tekeningen op het bord. Vervolgens wordt eerst gevraagd waar de wenkbrauw voor dient. Vanuit deze functies wordt gevraagd welke vorm van de wenkbrauw het beste zal werken. De leerkracht wijst erop aan dat eenzelfde structuur soms meerdere functies heeft, en dat bij een functie niet alleen de structuur zelf van belang is, maar soms ook de beweging (zoals bij de functie van 'tekens geven')

Stap 6. de leerkracht vat samen welke waarnemingen en redeneringen er in deze les vanuit de ontwerpersbril zijn gedaan.

Legitimering

Het gaat in deze lessenreeks om een type leerdoel dat voor de leerlingen nieuw is: een manier van kijken. Het is te verwachten dat leerlingen in verwarring zullen raken door de andersoortige taken die dit met zich meebrengt. Om deze reden is de rol van de oriënteringsbasis voor deze handelingen van groot belang (Boekaerts&Simons, 1995)

De opdracht om leerlingen uit het hoofd te laten tekenen heeft meerdere functies. Enerzijds realiseren zij zich -door de problemen die dit oplevert- dat hun kennis van voorwerpen waar ze dagelijks mee omgaan lacunes vertoont, anderzijds leveren de verschillende tekeningen vergelijkingsmateriaal op. Dit vergelijkingsmateriaal is nodig om te leren werken met het VFP. De vraag "waarom zo en niet anders" houdt immers in dat de leerlingen een voorstelling moeten hebben van mogelijke andere vormen. Pas door meerdere alternatieven naast elkaar te zien wordt dit voor de leerlingen mogelijk. Door direct zowel technische als biologische structuren te bestuderen wordt al een beetje duidelijk wat het domein van het VFP is. Tevens wordt via het wenkbrauwvoorbeeld duidelijk dat ook *veranderingen* in de structuur (bewegingen) binnen dit domein vallen, en dat structuren meerdere functies kunnen combineren. Uit de proefversie blijkt dat de meeste leerlingen van de wenkbrauw de functie "afvoeren van zweet" niet kennen. Dat levert een extra leerervaring op, waarna ze vanuit deze nieuwe kennis over de functie opnieuw de vorm kunnen gaan beoordelen. Daarmee ervaren zij dat kennis over de functie een beter inzicht geeft over de vorm.

Activiteit 2. ONTWERPEN

Plaats binnen het scenario

Na de oriëntatie in activiteit 1. is de functie van deze ontwerpactiviteit het bieden van ervaringen met ontwerpactiviteiten en met het bespreken van ontwerpen. Door het ontwerpen en de discussie daarover wordt een basis gelegd om in latere activiteiten te leren kijken en redeneren vanuit het perspectief van een ontwerper.

Leerdoelen:

De leerlingen kunnen een oplossing voor een probleem ontwerpen, uitvoeren, vergelijken en beargumenteren.

Ervaring met handelingen uit het VFP:

Vormen beschrijven

2.1.1 ruimtelijke vorm benoemen

2.1.2 materiaal benoemen

2.1.3 constructie benoemen

Relatie leggen tussen kenmerken functie:

3.1.a de vraag stellen 'Waarvoor dient kenmerk X?'

3.1.b aangeven waar een kenmerk voor dient

3.2.c een oplossing ontwerpen die bij functie Y past

Vorm-functierelaties verklaren

4.1.a de vraag stellen 'Hoe werkt het?'

4.1.b.1 verklaren hoe iets werkt via het effect van

1.de ruimtelijke vorm

2.het materiaal

3.de constructie

4.2.a de vraag stellen "Waarom heeft kenmerk X vorm A en niet vorm A'?"

4.2.b voor- en nadelen van alternatieven afwegen in relatie tot

1.de vereisten van de gebruikssituatie

2.het neveneffect van de vorm op andere functies

Functies beschrijven

5.2. functies specificeren naar de gebruikssituatie

Heuristische hanteren

6.1.1 aanrrommelen

Gepland leerproces Activiteit 2.

(zie ook werkblad 4 in Bijlage 2)

Stap 1.de leerlingen bedenken individueel een oplossing voor een technisch probleem. Zij wisselen ideeën uit en bespreken voor- en nadelen ervan om tot een keuze te komen (3.2.c)

Stap 2.de leerlingen voeren het gekozen plan uit door met hun groepje iets te maken dat een oplossing vormt voor het opgegeven probleem. Hierbij zullen zij in hun groepje telkens beslissingen moeten nemen over de precieze uitvoering.

Stap 3.de leerlingen presenteren hun werk, en luisteren naar de oplossingen van andere groepen. Ze ervaren dat er meerdere oplossingen zijn voor eenzelfde probleem. Ze geven commentaar op andermans werk en reageren op commentaar van anderen op hun eigen voorstel. Hierbij leren zij dat elk voorstel voordelen en nadelen heeft, en dat de keuze afhangt van de context(4.2.b). Zij oefenen in het beschrijven van vorm, materiaal en constructie van de oplossingen(2.1).

Rol van de leerkracht

Stap 1.de leerkracht geeft de leerlingen opdracht om een oplossing te bedenken voor het probleem dat potloden steeds van de tafel rollen. Ze moeten eerst individueel iets bedenken en vervolgens in hun groepje de beste oplossing uitkiezen. De oplossing moet worden uitgewerkt op het schema van de ontwerpersbril.

Stap 2.de leerkracht zorgt voor materialen waarmee diverse oplossingen te maken zijn zoals stroken karton, lijm, nietjes, plasticine etc. Het klaarliggende knutselmateriaal geeft indicaties voor mogelijke oplossingen.

Stap 3.de leerkracht vraagt elk groepje hun oplossing te demonstreren. Vervolgens worden de andere leerlingen gevraagd vragen te stellen en commentaar te leveren. De leerkracht laat bij de eerste voorbeelden zien hoe een oplossing te beschrijven is in de aspecten vorm, materiaal en constructie, en vraagt de leerlingen om dit geleidelijk in hun beschrijving op te nemen.

Legitimering

In de proefversie van het scenario was geen ontwerpactiviteit opgenomen. Bij de uitvoering van de proefversie bleek dat leerlingen moeite hadden met het schema van de ontwerpersbril, met name met de middenkolom. De redenering achter de invoering van deze activiteit in het bijgestelde scenario is, dat leerlingen beter in staat zullen zijn als ontwerper te kijken naar objecten als ze eerst iets zelf ontworpen hebben. Een tweede argument is, dat uit eerder onderzoek is gebleken dat ontwerpactiviteiten geschikt zijn om samenwerkend leren te stimuleren, waarbij uitwisseling van ideeën een belangrijke rol speelt (Hennessy & Murphy, 1999). De verwachting is dat de ontwerpactiviteit binnen de groep en de klassikale bespreking na afloop de discours tussen leerlingen zal stimuleren. Binnen de groep zal dan de discussie meer gaan over de optimale uitvoering van het gekozen ontwerp, tussen de groepjes zal de discussie gaan over de verschillen tussen de oplossingen.

In de presentatie (stap 3) geeft de leerkracht aan hoe een ontwerp te beschrijven is in vorm, materiaal en constructie, hetgeen de modellering-stap inhoudt voor activiteit 3 waar de leerlingen dit zelf moeten doen.

Activiteit 3. REFLECTIE OP ONTWERPEN

Plaats binnen het scenario

Van de ontwerpen die in activiteit 2 zijn gemaakt en gepresenteerd worden nu bekeken de aspecten vorm, materiaal en constructie afzonderlijk bekeken. De leerling krijgt daarmee begrippen in handen waarmee ontwerpen preciezer kunnen worden geanalyseerd, en de keuze voor een bepaald ontwerp specifieker kan worden besproken en verklaard. Dit zijn de bouwstenen voor het analyseren van een ontwerp dat in activiteit 4 plaatsvindt.

Daarnaast wordt duidelijk dat geen enkele oplossing in alle opzichten ideaal is, en dat een ontwerp dus altijd bekeken moet worden in zijn context.

Leerdoelen:

Leerlingen realiseren zich

1. dat ontwerpers keuzen moeten maken
2. dat ruimtelijke vorm, materiaal en constructie aspecten zijn van deze keuze
3. dat ontwerpen altijd voordelen en nadelen hebben
4. dat de keuze voor een ontwerp afhangt van de context

Ervaring met handelingen uit het VFP:

Vormen beschrijven

2.1.1 ruimtelijke vorm benoemen

2.1.2 materiaal benoemen

2.1.3 constructie benoemen

Vorm-functierelaties verklaren

4.1.b verklaren hoe iets werkt via het effect van

1.de ruimtelijke vorm

2.het materiaal

3.de constructie

Gepland leerproces Activiteit 3.

(zie ook de werkbladen 5 t/m 8 in Bijlage 2)

Stap 1. De leerlingen zien en horen hoe de leerkracht de categorieën vorm, materiaal en constructie hanteert in de beschrijving van de ontwerpen van activiteit 2. Zij realiseren zich dat ontwerpers keuzen moeten maken waarin de eigenschappen van vorm, materiaal en constructie een rol spelen.

Stap 2. de leerlingen analyseren hun ontwerpen uit activiteit 2 op hetzij vorm, hetzij materiaal, hetzij constructie (2.1). Zij denken na en bespreken welke eigenschappen van een bepaalde vorm, materiaal of constructie van belang kunnen zijn voor de keuze in een ontwerp (4.1.b). Eén groepje analyseert de geschiktheid van de ontwerpen in diverse gegeven contexten (4.2.b).

Stap 3. de leerlingen presenteren per groepje hun bevindingen en luisteren naar die van de andere groepjes. Daardoor leren zij ook hoe de niet door hun bestudeerde aspecten een rol spelen in het ontwerp.

Legitimering

Na de eerste modellering stap die de leerkracht in de presentatie van activiteit 3 heeft gezet wordt een volgende stap in het cognitive apprenticeship gezet door de leerlingen nu in groepjes zelf de aspecten vorm, materiaal en constructie te laten uitwerken, geholpen door de leerkracht en ondersteund via het werkblad.

Het 'catalogus-idee' is ontleend aan de VO-techniekmethode "Technologisch" waarin een speciaal gedeelte van het leerboek is gewijd aan een overzicht van vormen, materialen, bewerkingen en functies. De redenering achter deze activiteit was dat de door de leerlingen aangelegde catalogus in latere activiteiten zou kunnen terugkomen en geleidelijk verder aangevuld.

Activiteit 4. LEREN KIJKEN ALS EEN ONTWERPER

Plaats binnen het scenario

In de oriëntatie (activiteit 1) hebben de leerlingen al een kleine demonstratie gehad in het redeneren van vorm naar functie via het analyseren van ontwerpen zoals de paperclip. In activiteit 2 en 3 hebben de leerlingen leren redeneren van functie naar vorm, en invulling gegeven aan de begrippen ruimtelijke vorm, materiaal en constructie.

In deze activiteit gaan de leerlingen terug naar het analyseren van voorwerpen, maar nu zelfstandiger, met complexere voorwerpen en meer hulpvragen.

Leerdoelen:

1. De leerlingen kunnen een gegeven voorwerp analyseren
2. De leerlingen kunnen met eigen woorden weergeven wat het VFP inhoudt en hoe ze het gebruiken

Rol van de leerkracht

Stap 1. De leerkracht vertelt dat ontwerpers steeds moeten kiezen hoe ze een ontwerp moeten maken, en dat ze daarvoor meer moeten weten over geschikte vormen, materialen en constructies. Hun taak is om daarvan een 'catalogus' aan te leggen waarmee een ontwerper keuzen kan maken. De leerkracht verdeelt de verschillende opdrachten over de groepjes. Via een gedeeltelijk ingevuld werkblad demonstreert de leerkracht wat de bedoeling is van de opdrachten.

Stap 2. De leerkracht ondersteunt de groepjes bij de opdrachten.

Stap 3. De leerkracht leidt de discussie en vult de gegevens van de groepjes aan

Ervaring met handelingen uit het VFP:

Kenmerken beschrijven als geheel met samenwerkende onderdelen

1.1. aan een kenmerk onderdelen onderscheiden en benoemen

1.2. aangeven waar een kenmerk onderdeel van is

Vormen beschrijven

2.1.1 ruimtelijke vorm benoemen

2.1.2 materiaal benoemen

2.1.3 constructie benoemen

2.2 processen beschrijven

Relatie leggen tussen kenmerk en functie:

3.1.a de vraag stellen 'Waarvoor dient kenmerk X?'

3.1.b aangeven waar een kenmerk voor dient

Vormfunctierelaties verklaren

4.1.a de vraag stellen 'Hoe werkt X?'

4.1.b verklaren hoe iets werkt via het effect van

1.de ruimtelijke vorm

2.het materiaal

3.de constructie

Functies beschrijven

5.1 totaal functies en deelfuncties aan elkaar relateren

Heuristische hanteren

6.1.2 voorspellen van veranderingen

Gepland leerproces Activiteit 4.

(zie ook werkblad 9 in Bijlage 2)

Stap 1. De leerlingen denken individueel na over het ontwerp van een wasknijper en tekenen dit zonder voorbeeld.

Stap 2. de leerlingen vergelijken binnen hun groepje hun tekeningen en komen via discussie en uitwisseling tot een gezamenlijk ontwerp. Zij denken daarbij na over de relatie tussen onderdeel en geheel, en bespreken vorm, materiaal en constructie als keuzen binnen het ontwerp (3.1, 4.1). Zij stuiten op vragen over het precieze ontwerp.

Stap 3. de leerlingen vergelijken het gezamenlijk ontwerp met het echte voorwerp en noteren de verschillen.

Stap 4. de leerlingen denken klassikaal na over de analyse van de wasknijper via het schema en de hulpvragen van de ontwerpersbril.

Stap 5. de leerlingen reflecteren over hoe de ontwerperbril hun heeft geholpen bij de waarneming en verklaring van de wasknijper.

Rol van de leerkracht

Stap 1. de leerkracht vraagt de leerlingen om individueel op een blaadje een wasknijper te tekenen.

Stap 2. de leerkracht deelt de werkbladen met hulpvragen uit en vraagt de leerlingen om tot een gezamenlijk ontwerp te komen, en na te denken over de verklaring van het ontwerp.

Stap 3. de leerkracht begeleidt de groepjes bij de discussies.

Stap 4. de leerkracht inventariseert de opmerkingen van de leerlingen op het bordschema van de ontwerpersbril, en vult de aspecten aan die niet door de leerlingen zijn genoemd

Stap 5. de leerkracht vraagt de leerlingen wat ze er nu bijgeleerd hebben over de wasknijper en welke vragen uit de ontwerpersbril hun daarbij behulpzaam waren.

Legitimering

In de proefversie was de analyse van de wasknijper de startactiviteit, waarin de leerkracht voordeed hoe deze geanalyseerd kan worden. Dit was succesvol als modelling, zoals bleek uit zelfstandige activiteiten daarna. Voor de leerlingen in de proefversie was het een eye-opener dat zo'n bekend voorwerp zoveel ontwerpaspecten in zich had; verschillende onderdelen, materialen, vormen en constructies, deelfuncties etc.

De verwachting is dat na een eigen ontwerpactiviteit en reflectie daarover, de leerlingen in staat zullen zijn tot discours via het vergelijken van tekeningen binnen hun groepje, en dat dit zal leiden tot gerichte vragen aan het voorwerp als dit uitgedeeld wordt. De hulpvragen zijn daarbij ondersteunend, te beschouwen als een vorm van 'scaffolding' voor het werken met de ontwerpersbril totdat de leerlingen uit zichzelf deze vragen gaan stellen. De aparte aandacht die in de voorgaande activiteit besteed is aan de aspecten vorm, materiaal en constructie zal eveneens behulpzaam zijn bij de analyse van de wasknijper.

Stap 5. Is bedoeld om de leerlingen te laten reflecteren op het VFP als instrument om de werkelijkheid te verkennen. De gedachte hierachter is dat het VFP als instrument beter zal functioneren naarmate het meer bewust gehanteerd wordt.

Activiteit 5. ZELF ZOEKEN MET DE ONTWERPERSBRIL

Plaats binnen het scenario

Waar activiteit 4 uitging van een gegeven voorwerp en een sterk coachende en modellerende leerkracht, wordt in deze activiteit de leerling gestimuleerd het geleerde op een zelf gekozen object toe te passen.

Leerdoelen:

De leerlingen zijn in staat een zelf uitgekozen object te analyseren op de relatie tussen vorm en functie.

Ervaring met handelingen uit het VFP:

Kenmerken beschrijven als geheel met samenwerkende onderdelen

1.3. aan een kenmerk onderdelen onderscheiden en benoemen

1.4. aangeven waar een kenmerk onderdeel van is

Vormen beschrijven

2.1.1 ruimtelijke vorm benoemen

2.1.2 materiaal benoemen

2.1.3 constructie benoemen

2.2 processen beschrijven

Relatie leggen tussen kenmerk en functie:

3.1.a de vraag stellen 'Waarvoor dient kenmerk X?'

3.1.b aangeven waar een kenmerk voor dient

Vormfunctierelaties verklaren

4.1.a de vraag stellen 'Hoe werkt X?'

4.1.b verklaren hoe iets werkt via het effect van

1.de ruimtelijke vorm

2.het materiaal

3.de constructie

Functies beschrijven

5.1 totaal functies en deelfuncties aan elkaar relateren

Heuristieken hanteren

6.1.2 voorspellen van veranderingen

Gepland leerproces Activiteit 5.

(zie ook werkblad 10 in Bijlage 2)

Stap 1. de leerlingen zoeken een voorwerp in het lokaal op basis van een afbeelding. Zij ervaren daarbij dat een bekende plek als het eigen lokaal onbekende vormen kan bevatten.

Stap 2. de leerlingen zoeken in het lokaal naar een voorwerp waar ze de ontwerpersbril op kunnen toepassen.

Stap 3. de leerlingen werken het voorwerp uit met de ontwerpersbril: onderscheiden onderdelen, vormen, materialen en constructies. Zij maken een tekening op een mini-poster van de ontwerpersbril (2.1, 3.1, 4.1).

Stap 4. de leerlingen presenteren hun eigen voorwerp en luisteren naar de presentatie van anderen. Zij horen veel voorbeelden van vorm-functierelaties in hun dagelijkse omgeving en realiseren zich dat de ontwerpersbril hun deze omgeving met nieuwe ogen laat bekijken.

Rol van de leerkracht

Stap 1. de leerkracht tekent een detail van een voorwerp uit het lokaal op het bord en vraagt de leerlingen om dit op te zoeken

Stap 2. de leerkracht vraagt de leerlingen om in tweetallen zelf een voorwerp te kiezen en dit volgens de ontwerpersbril te gaan uitwerken.

Stap 3. de leerkracht helpt de tweetallen bij de uitwerking

Stap 4. de leerkracht leidt de presentaties en stelt vragen naar niet genoemde aspecten bij de presentatie.

Legitimering

In de proefversie is deze activiteit uitgetest en leverde daar enthousiaste reacties op. De leerlingen konden goed overweg met de ontwerpersbril. De activiteit is –naast een verdere oefening met het VFP- bedoeld om de transfer te testen van het VFP op een nieuw, zelf gekozen voorwerp. Het zelf kiezen is hierbij essentieel; de leerling geeft daarmee aan het VFP ook als ‘zoeklicht’ te kunnen gebruiken om verschijnselen uit de omgeving mee te selecteren.

De zoekopdracht in stap 1. is bedoeld om leerlingen te laten realiseren dat ook een bekende omgeving vol kan zijn van nog nooit bewust waargenomen vormen, en daarmee hun op het spoor te zetten soortgelijke vormen uit te zoeken voor de opdracht. De presentatie stimuleert het onder woorden brengen –en daarmee weer bewuster maken- van de werkwijze (de ‘taligheid’ van het begrip) en biedt tevens een uitnodiging voor discours over de ontwerpen. Tevens zien de leerlingen hierdoor veel andere voorbeelden, en kunnen analogieën onderkennen in vorm en/of functie tussen de verschillende objecten. De mini-posters dienen om de presentatie te ondersteunen op een manier die analoog is aan het schema van de ontwerpersbril, en vormen tevens gegevens voor het onderzoek.

Activiteit 6. REFLECTIE OP DE ONTWERPERSBRIL

Plaats binnen het scenario

Nadat de leerlingen in activiteit 4 en 5 bezig zijn geweest met specifieke voorwerpen, wordt nu de aandacht weer naar de algemene aspecten van de ontwerpen gericht. Hierbij speelt de ‘catalogus’ uit activiteit 3 weer een rol. Via een klassengesprek komt steeds de ‘middenvraag’ uit de ontwerpersbril aan de orde “waarom zo en niet anders”.

Tevens wordt op deze manier duidelijk dat gelijksoortige vormen soms duiden op gelijke functies, en anderzijds dat gelijke functies soms op heel verschillende wijzen worden vervuld. Het ‘heen en weer denken’ tussen vorm en functie komt nu op gang.

Daarnaast wordt de leerling gevraagd om na te denken over wat hij/zij tot dusver heeft geleerd, en waarvoor het VFP bruikbaar is.

Leerdoelen:

De leerlingen kunnen aangeven dat

1. Gelijke vormen soms duiden op gelijke functies
2. Gelijke functies soms door uiteenlopende vormen worden vervuld
3. Onderdelen deelfuncties hebben
4. Vormaspecten van voorwerpen doorgaans het gevolg zijn van een ontwerpkeuze

Ervaring met handelingen uit het VFP:

Kenmerken beschrijven als geheel met samenwerkende onderdelen

1.1 aan een kenmerk onderdelen onderscheiden en benoemen

Vorm-functierelaties verklaren

4.1.b verklaren hoe iets werkt

4.2.b voor- en nadelen van alternatieven afwegen

Functies beschrijven

5.1 totaal functies en deelfuncties aan elkaar relateren

5.2 functies specificeren naar de gebruikssituatie

Heuristische gebruiken

6.2.analogieën hanteren

Doelen met betrekking tot metacognitie

Het vormfunctieperspectief onder woorden kunnen brengen

Het domein aangeven waarop het vormfunctieperspectief van toepassing is

Gepland leerproces Activiteit 6.

(zie ook de vragenlijst in Figuur 5.1)

Rol van de leerkracht

Stap 1.de leerlingen leren voorbeelden van vormen, materialen en constructies die meerdere malen voorkomen, en leren dat deze soms met gelijksoortige functies verbonden zijn, maar niet altijd. Ze leren dat bepaalde functies op velerlei wijzen kunnen worden vervuld. Ze verklaren de keuze van bepaalde vormkenmerken. Ze onderscheiden onderdelen en koppelen deze aan deelfuncties.

Stap 1.de leerkracht vraagt naar het voorkomen van overeenkomstige vormen, materialen, constructies en functies in de onderzochte voorwerpen van activiteit 5. Hierbij stelt zij steeds de vraag waarom een bepaald vormkenmerk gekozen is, en niet een ander. Ook stelt de leerkracht vragen over de onderdelen van de voorwerpen en de deelfuncties die daaraan verbonden zijn.

Stap 2.de leerlingen reflecteren op de ontwerpersbril: zij denken na over wat de ontwerpersbril hun heeft opgeleverd (zie Figuur 5.1, vraag 1-5), over hoe de activiteiten hun bevallen zijn (vraag 6-7), brengen onder woorden wat voor handelingen de ontwerpersbril bevat (vraag 8) en denken na over het domein van de ontwerpersbril (vraag 9)

Stap 2.de leerkracht vraagt de leerlingen een vragenlijst over de ontwerpersbril in te vullen.

Legitimering

In deze activiteit zijn meerdere reflectiestappen aanwezig: enerzijds wordt gereflecteerd over de ontwerpen die in activiteit 5 zijn gepresenteerd. Anderzijds wordt gereflecteerd over het VFP zelf. De reflectieactiviteit is een onmisbare activiteit om tot metacognitie te komen en zo het VFP als een bewust te hanteren instrument te kunnen hanteren. Daarnaast levert de vragenlijst uiteraard onmisbare gegevens voor het onderzoek.

Activiteit 7. LEVENDE DINGEN LEREN BEKIJKEN ALS EEN ONTWERPER

Plaats binnen het scenario

Alle handelingen van het VFP zijn nu aan de orde geweest bij technische voorwerpen. De leerlingen hebben via het model van de ontwerpersbril 'heen en weer leren denken' tussen vorm en functie, en ervaring opgedaan met het vergelijken van ontwerpen. In de hiernavolgende activiteiten wordt van de leerlingen gevraagd om deze leerervaringen toe te passen op biologische verschijnselen. In activiteit 7 wordt middels een voorbeeld uit het menselijk lichaam gedemonstreerd dat hetzelfde begrippenapparaat hierbij bruikbaar is als in activiteit 2-6 is aangeleerd.

Leerdoelen:

De leerlingen kunnen biologische verschijnselen bespreken alsof het ontworpen oplossingen zijn voor problemen.

Ervaring met handelingen uit het VFP:

Vormen beschrijven

- 2.1.1 ruimtelijke vorm benoemen*
- 2.1.2 materiaal benoemen*
- 2.1.3 constructie benoemen*
- 2.2 processen beschrijven*

Relatie leggen tussen kenmerk en functie:

- 3.1.a de vraag stellen 'Waarvoor dient kenmerk X?'*
- 3.1.b aangeven waar een kenmerk voor dient*

Vormfunctierelaties verklaren

- 4.1.a de vraag stellen 'Hoe werkt X?'*
- 4.1.b verklaren hoe iets werkt via het effect van*
 - 1.de ruimtelijke vorm*
 - 2.het materiaal*
 - 3.de constructie*
- 4.2.b voor- en nadelen van alternatieven afwegen in relatie tot*
 - 1.de vereisten van de gebruikcontext*

Gepland leerproces Activiteit 7.

(zie ook werkblad 10 in Bijlage 2)

Stap 1. De leerlingen luisteren naar een verhaal. Zij leren de oogleden en wimpers zien als oplossingen voor een probleem dat landdieren hebben; uitdrogen en stof. Zij denken zelf na over hoe oogleden en wimpers te formuleren zijn als ontwerpen. (3.1.a/b, 4.2.a/b)

Stap 2. De leerlingen passen de vragen van de ontwerpersbril toe op de oogleden en wimpers. Zij denken na over de onderdelen en functies daarvan, over de vorm, het materiaal en de constructie en de relatie daarvan met de functie. Ze discussiëren in groepjes over de antwoorden (2.1, 3.1, 4.1, 4.2)

Stap 3. De leerlingen luisteren naar de verschillende uitwerkingen en discussiëren over de beste invulling van het schema.

Rol van de leerkracht

Stap 1. De leerkracht vertelt een verhaal waarin mensen vroeger in het water leefden en geen oogleden nodig hebben, en door het land op te gaan behoefte kregen aan bescherming tegen uitdroging. De leerkracht vraagt hierbij de leerlingen om een minuut lang niet met de ogen te knipperen en te vertellen wat ze voelen. Door een ontwerper worden in het verhaal diverse oplossingen ontworpen, elk met voordelen en nadelen. De leerlingen moeten zelf het slot van het verhaal vertellen, waarin oogleden en wimpers als ideale oplossing fungeren tegen droogte en stof.

Stap 2. De leerkracht vraagt de leerlingen om vanuit het verhaal nu het schema van de ontwerpersbril in te vullen voor de oogleden/wimpers.

Stap 3. De leerkracht bespreekt met de klas de ingevulde schema's en vult deze aan.

Legitimering

Het gaat in deze activiteit niet om het oefenen of introduceren van nieuwe handelingen uit het VFP, want die zijn allen aan bod geweest in de vorige activiteiten. De kern van deze activiteit is de transfer van deze handelingen naar niet-ontworpen biologische verschijnselen, door deze te beschouwen alsof ze waren ontworpen. Om die reden is het verhaal gekozen als vorm om deze 'alsof-redenering' te introduceren. Door de leerlingen de laatste stap van het verhaal te laten bedenken worden ze vanzelf ingeleid in het denken over oogleden als een ontwerp.

Hiermee is deze activiteit tevens weer een modellering-fase voor het toepassen van het VFP op biologische verschijnselen, die haar vervolg krijgt in de volgende activiteit.

Activiteit 8. ZELF LEVENDE DINGEN BEKIJKEN

Plaats binnen het scenario

Na het voorbeeld van de oogleden gaan de leerlingen nu zonder verdere aanwijzing aan het werk met een nieuw voorbeeld. Dit voorbeeld is plantaardig, waarmee tevens een uitbreiding van het domein van het VFP naar plantaardige onderwerpen wordt bereikt.

Leerdoelen:

De leerlingen kunnen een gegeven biologisch verschijnsel analyseren m.b.v. het vorm-functieperspectief

Ervaring met handelingen uit het VFP:

Vormen beschrijven

2.1.1 ruimtelijke vorm benoemen

2.1.2 materiaal benoemen

2.1.3 constructie benoemen

2.2 processen beschrijven

Relatie leggen tussen kenmerk en functie:

3.1.a de vraag stellen 'Waarvoor dient kenmerk X?'

3.1.b aangeven waar een kenmerk voor dient

Vormfunctierelaties verklaren

4.1.a de vraag stellen 'Hoe werkt X?'

4.1.b verklaren hoe iets werkt via het effect van

1.de ruimtelijke vorm

2.het materiaal

3.de constructie

4.2.b voor- en nadelen van alternatieven afwegen in relatie tot

1.de vereisten van de gebruikcontext

Gepland leerproces Activiteit 8

(zie ook werkblad 11 in Bijlage 2)

Stap 1. De leerlingen leren dat ook plantaardige objecten binnen het domein vallen van de ontwerpersbril. Zij passen de vragen van de ontwerpersbril toe op de zaden die ze voor zich hebben en discussieren in groepjes over de antwoorden. Ze onderscheiden onderdelen aan de boon en koppelen daar deelfuncties aan. Ze formuleren vragen over de aspecten die hun nog niet duidelijk zijn. Een deel van die vragen beantwoorden ze door eigen onderzoek (2.1, 3.1, 4.1, 4.2).

Stap 2. De leerlingen luisteren naar de verschillende uitwerkingen en discussieren over de beste invulling van het schema.

Rol van de leerkracht

Stap 1. De leerkracht deelt gekiemde en ongekiemde bonen uit, en vraagt de leerlingen om dit weer uit te werken op het schema van de ontwerpersbril

Stap 2. De leerkracht bespreekt met de klas de ingevulde schema's en vult deze aan (figuur 13).

Legitimering

Ook hier is er weer sprake van een meer zelfstandige uitvoering van de handelingen van het VFP, na de meer geleide uitvoering in activiteit 7. In tegenstelling tot activiteit 7 is er nu geen inleidend verhaal waarin de relaties al verborgen zijn, maar worden de leerlingen met het concrete materiaal geconfronteerd.

Het voorbeeld van de boon is om diverse redenen gekozen.

Ten eerste is, door het uitdelen van diverse stadia in de kieming, ook iets van het kiemproces duidelijk, en zijn veranderingen zoals bijvoorbeeld in de zaadhuid, de omvang van de boon en de hardheid waarneembaar, en daarmee open voor interpretatie.

Ten tweede wordt door dit voorbeeld duidelijk dat ook plantaardige structuren met het VFP te bestuderen zijn, en voor meer dienen dan alleen voor voedsel voor de mens. Leerlingen van deze leeftijd zijn geneigd planten, en vooral structuren als zaden, niet zonder meer te beschouwen als levende natuur met eigen functies. Dieren zijn daarvoor veel meer prototypisch (Margadant, 1990).

Ten derde is dit object niet te ingewikkeld en is het mogelijk om de structuur verder te onderzoeken door het open te maken, zonder problemen van afkeer e.d.

Deze activiteit is niet uitgetest in de proefversie.

Activiteit 9. DE VIER V's

Plaats binnen het scenario

In de eerste vijf activiteiten zijn de handelingen van het VFP aan bod gekomen bij ontworpen voorwerpen. In activiteit 7 en 8 hebben de leerlingen een eerste oefening gehad in het toepassen van het VFP bij biologische verschijnselen. In activiteit 9 wordt dit uitgebouwd door alle functies binnen organismen terug te voeren op de overlevingsfunctie, via de vier genoemde functies. Vanuit deze functies wordt nu ook gezocht naar bijpassende vormen.

Leerdoelen:

1. De leerlingen zijn in staat zijn om biologische verschijnselen te koppelen aan één of meer van de volgende functies, aan te duiden als “de vier V’s”:

- Voeding
- Verdedigen tegen vijanden
- Verdedigen tegen schade
- Voortplanting

2. De leerlingen kunnen vanuit deze vier functies verschijnselen bij organismen opsporen, en gebruikmakend van deze functies verschillende overlevingsstrategieën met elkaar vergelijken.

Ervaring met handelingen uit het VFP:

Relatie leggen tussen kenmerk en functie:

3.1.a de vraag stellen ‘Waarvoor dient kenmerk X?’

3.1.b aangeven waar een kenmerk voor dient

3.2.a de vraag stellen ‘Welke oplossing is er voor functie Y?’

3.2.b een oplossing zoeken die bij functie Y past

Vormfunctierelaties verklaren

4.1.a de vraag stellen ‘Hoe werkt X?’

4.1.b verklaren hoe iets werkt via het effect van

1.de ruimtelijke vorm

2.het materiaal

4.het proces

4.2.b voor- en nadelen van alternatieven afwegen in relatie tot

1.de vereisten van de gebruikcontext

3.het bij elkaar passen van deeloplossingen

Functies beschrijven

5.1 totaalfuncties en deelfuncties aan elkaar relateren

5.2 functies specificeren naar de gebruikssituatie

Gepland leerproces Activiteit 9.

(zie ook werkblad 12 en 13 in Bijlage 2)

Stap 1. De leerlingen luisteren naar het verhaal, en bedenken mogelijke oorzaken van uitsterven. De leerlingen zien dat de genoemde oorzaken in kolommen worden gezet en denken na over het gemeenschappelijke in deze kolommen. In samenspraak met de leerkracht komen zij tot de aanduidingen van de vier bovengenoemde functies. Zij realiseren zich dat het vervullen van elk van deze vier functies essentieel is voor overleving van welk dier dan ook. Via het overzicht op het bord krijgen ze van elke functie verschillende voorbeelden te zien.

Rol van de leerkracht

Stap 1. De leerkracht vertelt een kort verhaal over een periode voor de komst van de mens waarin klimaat en omstandigheden sterk afweken van de huidige, en waarin een gefingeerd dier leefde dat inmiddels is uitgestorven. Zij vraagt daarna aan de leerlingen om oorzaken te noemen die tot uitsterven hebben kunnen leiden.

De leerkracht noteert de antwoorden op het bord, waarbij de suggesties meteen worden geordend volgens de vier V’s. Deze termen verschijnen aan het eind van de inventarisatie als titels boven de lijst van oorzaken.

De leerkracht geeft aan dat voor elk organisme geldt dat deze vier functies vervuld moeten worden.

Stap 2. In de volgende stap bekijken de leerlingen een foto van een dier en denken na over hoe deze functies bij dit dier worden vervuld. Zij combineren hierbij hun kennis over dit dier met wat er op de foto te zien is. Zij horen hoe de leerkracht hun antwoorden aanvult en corrigeert. (3.2.a, 4.1.b, 5.1, 5.2) Daarna oefenen de leerlingen in groepjes met dezelfde handelingen bij een nieuwe foto. Hierbij zal er discussie in de groep kunnen ontstaan over de antwoorden. Van sommige functies is op de foto duidelijk te zien hoe deze wordt vervuld, maar van anderen kan een leerling alleen via redeneren of kennis toepassen het antwoord verkrijgen.

Stap 3. Door uitwisseling tussen de groepjes krijgen de leerlingen meer voorbeelden van deze functies te horen en nemen zij deel aan een discussie over welk antwoord het meest plausibel is.

Stap 4. Tenslotte sorteren de leerlingen een reeks termen van biologische verschijnselen onder de vier genoemde "V-functies".
(cat. 1.2. een functie toewijzen aan een vorm)

Stap 2. In de volgende stap vertoont de leerkracht een foto van een dier (een vos) en behandelt klassikaal de vraag hoe hier deze vier functies worden vervuld, en hoe dat aan de foto te zien is, of te beredeneren vanuit wat er te zien is. Daarna toont de leerkracht de leerlingen per groepjes een foto van een ander organisme, met dezelfde vragen naar de wijze waarop dit organisme de vier functies realiseert. (figuur 14)

Stap 3. De leerkracht leidt de nabespreking waarin de uitwisseling plaatsvindt (de groepjes hebben verschillende foto's), en geeft zo nodig aanvulling en correctie op de antwoorden.

Stap 4. De leerkracht deelt een werkblad uit (figuur 15) met een reeks biologische verschijnselen die ze moeten koppelen aan één of meer van de vier functies. Zij doet het eerste voorbeeld van deze reeks voor om te laten zien wat de bedoeling is.

Legitimering

De keuze voor de vier functies is gebaseerd op de 'Funktionskreise' van von Uexkell (1928) en de verdere uitwerking daarvan in hoofdstuk 2. Dit viertal functies bleek ook in mijn praktijkervaring in het opleidingsonderwijs goed te fungeren als operationalisaties van het begrip 'overleven' en als 'zoekbeelden' om vragen te genereren bij de studie van organismen.

In deze activiteit wordt bewust gestreefd naar een combinatie van redeneringen van vorm naar functie en van functie naar vorm, om het 'heen en weer denken' te bevorderen..

De veronderstelling bij stap 1 van deze activiteit is dat een lijst van *oorzaken van uitsterven* via het omdraaien van de redenering om te zetten is in een reeks *voorwaarden voor overleving*, in dit geval samengevat in de vier V's. Bij de proefversie bleek dit inderdaad het geval.

Door deze lijst uit de suggesties van de leerlingen zelf te laten voorkomen zijn de leerlingen meer betrokken bij de constructie van deze begrippen dan wanneer ze zonder meer door de leerkracht zouden worden geïntroduceerd.

Bij stap 2. wordt de leerling ingeleid in het zoeken van vormen bij functies via de methode van 'cognitive apprenticeship'. De leerkracht doet een eerste voorbeeld voor en ondersteunt de groepjes via de steunvragen van het werkblad en mondelinge hulp.

In stap 3 vindt verdere coaching plaats doordat de leerkracht bij de presentaties correcties kan aanvoeren en bespreken. Stap 2 en 3 zijn ook bestemd om discours uit te lokken, in stap 2 binnen de groepjes, in stap 3 klassikaal. Doordat de antwoorden niet eenduidig uit het fotomateriaal te halen zijn, en meerdere antwoorden correct kunnen zijn, is discours te verwachten en kan deze ook meer informatie opleveren voor de leerling.

In stap 4 wordt van de leerling gevraagd om vormen te verbinden met functies. In de proefversie van het scenario is deze activiteit uitgetest en heeft daar het beoogde resultaat gehad. Dit onderdeel is daarom ongewijzigd overgenomen in het uiteindelijke scenario.

Er wordt hierbij van uitgegaan dat de voorkennis van leerlingen voldoende is om deze koppelingen te kunnen maken. Daar de keuze van toe te wijzen functies beperkt is tot de vier gegeven functies, is de

probleemruimte te overzien door de leerlingen. Vanuit de ingevulde lijst is voor de leerling duidelijk zichtbaar dat er veel verschillende oplossingen zijn in de natuur voor eenzelfde functie (bijv. strategieën om zich tegen vijanden te verdedigen). Enkele verschijnselen kunnen gekoppeld worden aan meerdere functies. De leerling kan dus zowel ervaren dat een vorm meerdere functies kan hebben als dat bij één functie meerdere vormen kunnen passen.

Activiteit 10. ONTWERPEN VAN DE NATUUR

Plaats binnen het scenario

Na activiteit 9 hebben de leerlingen zowel ervaring opgedaan met het toewijzen van een functie aan een vorm als met het zoeken van een bestaande vorm die bij een functie past. Tevens hebben ze gezien dat elk organisme een andere combinatie van oplossingen heeft, die zowel onderling samenhangen als samenhangen met de leefwijze. In activiteit 10 staan deze beide vormen van samenhang binnen een organisme centraal, en vormen de achtergrond van verklaringen van vorm-functierelaties bij concrete aangeboden biologische verschijnselen.

Leerdoelen:

1. De leerling kan voorbeelden geven van biologische functies die op verschillende wijze worden vervuld in verschillende organismen
2. De leerling kan aangeven dat geen enkele vorm in alle opzichten ideaal is doordat
 - Vormen ook altijd nadelen hebben
 - Niet elke vorm combineerbaar is met een andere vorm binnen één organisme
3. de leerling kan aangeven dat de ene vorm beter past bij een bepaalde leefwijze dan een andere

Ervaring met handelingen uit het VFP:

Kenmerken beschrijven als geheel met samenwerkende onderdelen

- 1.1 aan een kenmerk onderdelen onderscheiden en benoemen*

Vormen beschrijven

- 2.1.1 ruimtelijke vorm benoemen*
- 2.1.2 materiaal benoemen*
- 2.2 processen beschrijven*

Relatie leggen tussen kenmerk en functie:

- 3.1.a de vraag stellen 'Waarvoor dient kenmerk X?'*
- 3.1.b aangeven waar een kenmerk voor dient*

Vormfunctierelaties verklaren

- 4.1.a de vraag stellen 'Hoe werkt X?'*
 - 1.de ruimtelijke vorm*
 - 2.het materiaal*
 - 4.het proces*
- 4.2.b voor- en nadelen van alternatieven afwegen in relatie tot*
 - 1.de vereisten van de gebruikcontext*
 - 2.het neveneffect van de vorm op andere functies*
 - 3.het bij elkaar passen van deeloplossingen*

Functies beschrijven

- 5.1 totaal functies en deelfuncties aan elkaar relateren*
- 5.2 functies specificeren naar de gebruikssituatie*

Gepland leerproces Activiteit 10.

(zie ook werkblad 14, 15 en 16 in Bijlage 2)

Stap 1. De leerlingen luisteren naar vogelgeluiden en proberen deze te herkennen. Zij denken na over de functies van vogelzang en de functie van de verschillen in geluid. Verder denken zij na over mogelijke nadelen van het zingen voor de vogel, en over de meest geschikte vorm van een alarmroep. Via deze activiteiten realiseren zij zich dat ook vogelzang een onderwerp is dat met de ontwerpersbril is te bekijken. (1.1, 2.2) Ook leggen zij een verband tussen de vier V's uit activiteit 9 en de vogelzang (5.1, 5.2.)

Stap 2. De leerlingen horen elkaars argumenten en discussieren over de functie van vogelzang (3.1.a) en over de vorm die het beste past bij een alarmroep (4.2.b)

Stap 3. De leerlingen bestuderen de vormen van biologische objecten en gaan na welke functies daaraan verbonden zijn (3.1.a/b) en wat de voor- en nadelen zijn van de diverse vormen (4.2.a/b). Hiermee verklaren zij ook de verschillen tussen de vormen.

Stap 4. De leerlingen horen elkaars argumenten en discussieren over de vorm en functie van de ogen in relatie tot de leefwijze van vos en haas, en vorm en functie van vruchten in relatie tot de verspreiding en kieming van het zaad. (4.2.b1/2/3)

Legitimering

Een argument om met vogelzang te starten is dat het hier niet gaat om een tastbare structuur, maar om een gedrag. Te verwachten is dat leerlingen niet zonder meer hierop het VFP van toepassing achten. Uit de proefversie was ook gebleken dat veel leerlingen vogelzang niet tot het domein van het VFP rekenen, juist vanwege het niet tastbare. Door deze activiteit te kiezen als modellering konden twee vliegen in één klap worden geslagen. De werkwijze en vraagstelling kon worden gedemonstreerd, en de leerlingen konden ervaren dat ook zaken als diergedrag als ontwerp te bespreken zijn. Bovendien kan een werkvorm met geluiden het eenvoudigst klassikaal worden gedaan.

De volgende twee activiteiten betreffen plantaardige en dierlijke structuren. Hierbij worden steeds meerdere verschillende structuren vergeleken (schedels van twee dieren, vruchten van drie bomen) zodat vergelijking van ontwerpen mogelijk wordt, en de verschillen tussen de ontwerpen vragen om een verklaring (waarom is niet alles hetzelfde?)

De werkbladen sturen sterk in de richting van het beschrijven van de verschillen en het analyseren van de voor- en nadelen van de verschillende ontwerpen (bijvoorbeeld; ogen opzij van de kop zijn voordelig t.a.v. het waarnemen van vijanden, maar nadelig t.a.v. diepte zien). Tevens komt de combineerbaarheid van vormen binnen een ontwerp ter sprake (bijvoorbeeld; zware zaden bevatten wel veel voedsel voor het jonge plantje, maar zullen niet door de wind verspreid kunnen worden en zullen dus geen vleugeltjes bevatten).

Steeds wordt gevraagd de antwoorden te koppelen aan de vier V-functies. Bij sommige vragen wordt de leerlingen gevraagd een ideale vorm te kiezen (bijv. voor een alarmroep). Om het denkproces in kleinere

Rol van de leerkracht

Stap 1. De leerkracht laat drie verschillende vogelgeluiden horen met vermelding van welke vogels het zijn. Daarna wordt van één van de drie vogels een tweede geluid afgespeeld en wordt de leerlingen gevraagd welke vogel dit is. Vervolgens krijgen de leerlingen de opdracht om via antwoorden op vragen op een werkblad verder na te denken over vorm en functie van vogelzang. (Bijlage 2 werkblad 14)

Stap 2 de leerkracht bespreekt met de leerlingen de antwoorden op de vragen van het eerste werkblad

Stap 3 de leerkracht deelt werkbladen en concreet materiaal uit: schedels van vos en haas bij het tweede werkblad (Bijlage 2 werkblad 15) en vruchten van es, hulst en kastanje bij het derde werkblad (Bijlage 2 werkblad 16) Zij geeft de leerlingen opdracht in groepjes de vragen van de werkbladen te maken en begeleidt de groepjes bij de discussies en de antwoorden.

Stap 4 de leerkracht bespreekt klassikaal de antwoorden op de vragen van het werkblad en leidt de discussie over de relatie tussen vorm en functie.

stappen op te delen wordt de leerling hierbij steeds een keuze geboden uit twee opties; hard/zacht, hoog/laag, kort/lang en wel/niet op elkaar lijkend.

Activiteit 11. ZELF NATUUR ONTWERPEN

Plaats binnen het scenario

Deze activiteit is de equivalent van activiteit 2; ontwerpen, maar nu het ontwerpen van bij elkaar passende biologische kenmerken. In activiteit 7-10 is vooral geredeneerd van vorm naar functie, of zijn bestaande vorm-functierelaties verklaard. In activiteit 11 gaat de leerling zelf een fictief dier ontwerpen waarbij de ontwerpeisen duidelijk zijn vastgelegd middels randvoorwaarden voor de vier V's. Hier gaat het dus expliciet om het redeneren van functie naar vorm.

Leerdoelen:

De leerlingen zijn in staat

1. vanuit randvoorwaarden van voedsel, vijanden en abiotisch milieu ontwerpvoorstellen te maken die daaraan tegemoet komen
2. de effectiviteit en combineerbaarheid van deze voorstellen te bespreken

Ervaring met handelingen uit het VFP:

Vormen beschrijven

- 2.1.1 *ruimtelijke vorm benoemen*
- 2.1.2 *materiaal benoemen*
- 2.2 *processen beschrijven*

Relatie leggen tussen kenmerk en functie:

- 3.2.c *een oplossing ontwerpen die bij functie Y past*

Vormfunctierelaties verklaren

- 4.1.b *verklaren hoe iets werkt via het effect van*
 1. *de ruimtelijke vorm*
 2. *het materiaal*
 4. *het proces*
- 4.2.a *de vraag stellen 'Waarom heeft kenmerk X vorm A en niet vorm A?'*
- 4.2.b *voor- en nadelen van alternatieven afwegen in relatie tot*
 1. *de vereisten van de gebruikscontext*
 2. *het neveneffect van de vorm op andere functies*
 3. *het bij elkaar passen van deeloplossingen*

Functies beschrijven

- 5.1 *totaalfuncties en deelfuncties aan elkaar relateren*
- 5.2 *functies specificeren naar de gebruikssituatie*

Analogieën hanteren

- 6.2.1 *vorm-analogieën*
- 6.2.2 *functie-analogieën*

Gepland leerproces Activiteit 11.

(zie ook werkblad 17 a,b en c in Bijlage 2)

Stap 1.de leerlingen bestuderen de randvoorwaarden en ontwerpen in overleg met hun partner de onderdelen en het gedrag van het dier die de functies van de vier V's in deze context moeten vervullen (3.2.c).

Ze gaan na of de verschillende ontworpen kenmerken goed bij elkaar aansluiten, en realiseren zich dat een levensvatbaar ontwerp aan vele voorwaarden moet voldoen.

Stap 2.de leerlingen presenteren hun eigen dier en luisteren naar de presentatie van anderen. Ze leveren commentaar op elkaars dier en verdedigen hun eigen ontwerp.

Ze nemen kennis van meerdere mogelijkheden om de functies te vervullen en realiseren zich dat er grenzen zijn aan de combineerbaarheid van kenmerken.

(4.2.b1/2/3)

Legitimering

Zoals de ontwerpactiviteit in activiteit 2 gepland was om de leerlingen te leren kijken vanuit het perspectief van een ontwerper, is activiteit 11 gepland om leerlingen te laten realiseren aan welke voorwaarden het 'ontwerp' van een dier moet voldoen. De leerlingen zullen minder moeite hebben met allerlei afzonderlijke onderdelen en gedragingen te bedenken als oplossing voor een functie, maar zullen merken dat de ene oplossing niet altijd te combineren is met de andere (bijvoorbeeld; met poten die zware graafklauwen hebben kan je niet ook heel hard rennen). In de proefversie is deze activiteit uitgetest en dat leverde goede resultaten op die ook heel bruikbaar waren als uitgangspunt voor discussie. De leerlingen in de proefversie waren hier enthousiast over.

Activiteit 12. TWEEDE REFLECTIE OP DE ONTWERPERSBRIL

Plaats binnen het scenario

Zowel bij technische voorwerpen als bij biologische verschijnselen heeft de leerling nu ervaring met het werken met het VFP. Nu worden de leerlingen via een speelse test uitgelokt om hun kennis te demonstreren via een soort quiz. Vervolgens krijgen de leerlingen dezelfde vragenlijst als bij de eerste reflectie (activiteit 6).

Doelen met betrekking tot metacognitie

Het vormfunctieperspectief onder woorden kunnen brengen

Het domein aangeven waarop het vormfunctieperspectief van toepassing is

Rol van de leerkracht

Stap 1.de leerkracht deelt de werkbladen uit waarop een landschap te zien is. Zij geeft de leerlingen de opdracht in tweetallen een dier te ontwerpen dat kan overleven onder de voorwaarden die zijn gegeven van voedsel, vijanden en abiotisch milieu.

De leerkracht helpt de leerlingen bij het werk en stelt vragen over aspecten die nog niet zijn vermeld op het werkblad (Bijlage 2 werkblad 17abc)

Stap 2.de leerkracht leidt de presentatie en stelt vragen voorzover leerlingen niet zelf met commentaar komen.

Gepland leerproces Activiteit 12.

Stap 1. de leerlingen discussieren in groepjes over ontwerpen. Ze beschrijven en verklaren verschillen in vorm, en zoeken vormen bij een gegeven functie. Ze hanteren hierbij de ontwerpersbril als instrument zonder dat deze erbij gegeven is (zie de quizvragen bij activiteit 12 in Bijlage 2).

Stap 2. de leerlingen reflecteren op de ontwerpersbril. (zie de vragen in Figuur 5.1) Ze denken na over wat de ontwerpersbril hun heeft opgeleverd (vraag 1-5), over hoe de lessen hun bevallen zijn (vraag 6-7), brengen onder woorden wat voor handelingen de ontwerpersbril bevat (vraag 8) en denken na over het domein van de ontwerpersbril (vraag 9)

Rol van de leerkracht

Stap 1. de leerkracht geeft de opdracht om in groepjes vragen te beantwoorden over een biologische structuur (veren) en een technisch voorwerp (puntenslijper). Hierbij wordt verteld dat het om een quiz gaat, en dat het beste groepje een prijs krijgt.

Stap 2. de leerkracht bespreekt de antwoorden, rondt de lessenreeks af en deelt de tweede vragenlijst uit.

Legitimering

Activiteit 12 is een evaluerende activiteit waarin wordt nagegaan of de leerlingen in staat zijn in groepjes in ontwerp-termen te discussieren over antwoorden op vragen over biologisch materiaal (veren) en over een technisch voorwerp (puntenslijper). Het geheel heeft een competitief quiz-karakter, wat een extra motivatie kan zijn om na te denken over het goede antwoord.

Daarna krijgen de leerlingen dezelfde vragenlijst die ze in activiteit 6 hebben ingevuld, waarbij ze individueel moeten aangeven wat hun oordeel is over de lessenserie.

Bijlage 2. Werkbladen

WERKBLAD 1/2 (gebruikt bij paperclip en wenkbrauw)

HOE ZIET HET ERUIT?	WAAROM ZO EN NIET ANDERS?	WAAR DIENT HET VOOR?
1. Teken hieronder de paperclip 2. Teken hieronder de wenkbrauw		

WERKBLAD 3.

HOE ZIET HET ERUIT?	WAAROM ZO EN NIET ANDERS?	WAAR DIENT HET VOOR?
<p>De ontwerpersbril bekijkt:</p> <p>Dingen die mensen maken</p> <p>Onderdelen van planten, dieren en mensen</p> <p>Dingen die planten, dieren en mensen doen</p>	<p>Met de ontwerpersbril wil je weten</p> <ol style="list-style-type: none">1.Hoe werkt het eigenlijk?2. Zijn andere manieren ook geschikt?	<p>Sommige dingen hebben meer dan één taak</p>

WERKBLAD 4. (gebruikt bij eigen ontwerp maken)

HOE ZIET HET ERUIT?	WAAROM ZO EN NIET ANDERS?	WAAR DIENT HET VOOR?
<p>Schrijf of teken hieronder je eigen idee</p> <p>Schrijf of teken hieronder de ideeën van anderen</p>		<p>Om te voorkomen dat potloden van de tafel rollen</p>

WERKBLAD 5. CATALOGUS VAN VORMEN

VORMEN	EIGENSCHAPPEN	VOORBEELDEN
AFGERONDE VORM	1. blijft niet haken, maakt geen gaatjes 2. 3.	Randen van de paperclip
	1. 2. 3.	
	1. 2. 3.	
	1. 2. 3.	
	1. 2. 3.	
	1. 2. 3.	
	1. 2. 3.	
	1. 2. 3.	

WERKBLAD 6. CATALOGUS VAN MATERIALEN

MATERIALEN	EIGENSCHAPPEN	VOORBEELDEN
METAAL	1. buigzaam en veert terug 2. geleidt electriciteit 3.	De paperclip Polen van een stekker
	1. 2. 3.	
	1. 2. 3.	
	1. 2. 3.	
	1. 2. 3.	
	1. 2. 3.	
	1. 2. 3.	
	1. 2. 3.	

WERKBLAD 7. CATALOGUS VAN MANIEREN OM IETS IN ELKAAR TE ZETTEN
(CONSTRUCTIES)

CONSTRUCTIE	EIGENSCHAPPEN	VOORBEELDEN
Vastmaken met paperclip	1. kan makkelijk los zonder beschadiging 2. 3.	Stapeltje papiertjes bij elkaar houden
	1. 2. 3.	
	1. 2. 3.	
	1. 2. 3.	
	1. 2. 3.	
	1. 2. 3.	
	1. 2. 3.	
	1. 2. 3.	
	1. 2. 3.	

WERKBLAD 8. VOORDELEN EN NADELEN VAN DE OPLOSSINGEN

1.MAAK EERST EEN RIJTJE VAN DE OPLOSSINGEN

Nummer	Beschrijf kort de oplossing
1.	Potloden vastlijmen aan de tafel
2.	
3.	
4.	
5.	
6.	
7.	
8.	

2.BEANTWOORD DE VOLGENDE VRAGEN

Bij welke oplossing zullen de minste potloden vallen?	Oplossing ...
Bij welke oplossing zullen de meeste potloden vallen?	Oplossing ...
Welke oplossing is het goedkoopste ?	Oplossing ...
Welke oplossing is het duurste ?	Oplossing ...
Welke oplossing is het makkelijkst te maken ?	Oplossing ...
Welke oplossing is het moeilijkste te maken ?	Oplossing ...
Welke oplossing neemt de minste ruimte in?	Oplossing ...
Welke oplossing neemt de meeste ruimte in?	Oplossing ...
Welke oplossing is het minst lastig voor de leerlingen?	Oplossing ...
Welke oplossing is het meest lastig voor de leerlingen?	Oplossing ...
Welke oplossing zou je kiezen op school ?	Oplossing ...
Welke oplossing zou je thuis kiezen?	Oplossing ...

WERKBLAD 9. (gebruikt bij wasknijper)

HOE ZIET HET ERUIT?	WAAROM ZO EN NIET ANDERS?	WAAR DIENT HET VOOR?
<p>HULPVRAGEN</p> <ol style="list-style-type: none">1. Uit welke onderdelen bestaat het?2. Welke vorm hebben die onderdelen?3. Waar zijn ze van gemaakt?4. Hoe zitten ze aan elkaar en hoe beweegt het?	<p>HULPVRAGEN</p> <ol style="list-style-type: none">1. Wat zou er gebeuren als dit onderdeel er niet zou zijn?2. Wat zou er gebeuren als je de vorm verandert?3. Wat zou er gebeuren als je ander materiaal gebruikt?4. Wat zou er gebeuren als je het op een andere manier in elkaar zet?	<p>HULPVRAGEN</p> <ol style="list-style-type: none">1. Waar dient het geheel voor?2. Waar dienen de onderdelen voor?

WERKBLAD 10/11 (gebruikt bij ooglid en boon)

HOE ZIET HET ERUIT?	WAAROM ZO EN NIET ANDERS?	WAAR DIENT HET VOOR?
<p>HULPVRAGEN</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Uit welke onderdelen bestaat het? 2. Welke vorm hebben die onderdelen? 3. Waar zijn de onderdelen van gemaakt? 4. (bijvoorbeeld; bot, huid, spier, haar) 5. Hoe zitten de onderdelen aan elkaar vast? Kan er wat bewegen? 	<p>HULPVRAGEN</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Hoe werken de onderdelen samen aan hun taak? 2. Zou het nog beter kunnen? 	<p>HULPVRAGEN</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Waar dient het geheel voor? 2. Waar dient elk onderdeel voor? (als je dat niet weet, bedenk dan wat er zou gebeuren als dit onderdeel er niet zou zijn)

Werkblad 12.

DE VIER V'S	JULLIE PLANT OF DIER:
Hoe komt dit dier/deze plant aan zijn voedsel? Waar zou je dat aan kunnen zien?	
Hoe verdedigt het zich tegen vijanden? Waar zou je dat aan kunnen zien?	
Hoe verdedigt het zich tegen schade? Waar zou je dat aan kunnen zien?	
Hoe plant het zich voort? Waar zou je dat aan kunnen zien?	

WERKBLAD 13. NAAM:.....

VRAAG 1. Zet een kruisje onder de kolom waar het voor dient. Soms kan je achter één woord meer kruisjes zetten!

	Wat heeft de plant of dier er aan?	Voedsel vinden en pakken	Verdedigin g tegen opeten	Verdedigin g tegen schade	Voort-planting
Voorbeeld: vluchten	dient voor		x		
1. grazen	dient voor				
2. bloemen	dienen voor				
3. winterslaap	dient voor				
4. nestbouw	dient voor				
5. scherpe hoektanden	dienen voor				
6. najaarstrek	dient voor				
7. vies smaken	dient voor				
8. bladeren	dient voor				
9. schutkleur	dienen voor				
10. stroomlijn	dient voor				
11.	dient voor		x		

VRAAG 2. Bij nummer 11 mag je zelf een voorbeeld noemen van iets wat planten of dieren doen om niet opgegeten te worden.

VRAAG 3. Zijn er nummers bij die **zowel** bij planten **als** bij dieren kunnen voorkomen?

.....

VRAAG 4. Welke nummers passen goed bij een dier dat onder de grond leeft? Welke passen daar niet goed bij?

Goed:.....

...

Niet goed:.....

WERKBLAD 14 IEDER VOGELTJE ZINGT ZOALS HET GEBEKT IS!

Op het bandje staan drie verschillende vogelgeluiden van de winterkoning, de koolmees en de roodborst. Daarna is van één van deze drie vogels nog een geluid opgenomen. Je moet erachter komen van welke vogel dat geluid is. Niet voorzeggén!

VRAAG 1.

Probeer de geluiden van de drie vogels te beschrijven.

Winterkoning	
Koolmees	
Roodborst	

Het geluid van de 'onbekende vogel' is van de

VRAAG 2.

Waar zouden de geluiden van vogels voor kunnen dienen? Denk aan de vier V's!

.....
.....

VRAAG 3.

Waarom zouden de vogelgeluiden van deze vogels van elkaar verschillen?

.....
.....

VRAAG 4.

Heeft het zingen ook **nadelen** voor de vogel? Met welke 'V' heeft dat te maken?

.....
.....

VRAAG 5.

Vaak kan één vogel meerdere soorten geluiden maken. Wat voor geluid zou je geschikt vinden om andere vogels te waarschuwen dat er een roofvogel aankomt?

Lang of kort?

Hoog of laag?

Hard of zacht?

Elke soort een eigen geluid of allemaal op elkaar lijkend?

WERKBLAD 15. OGEN IN JE KOP

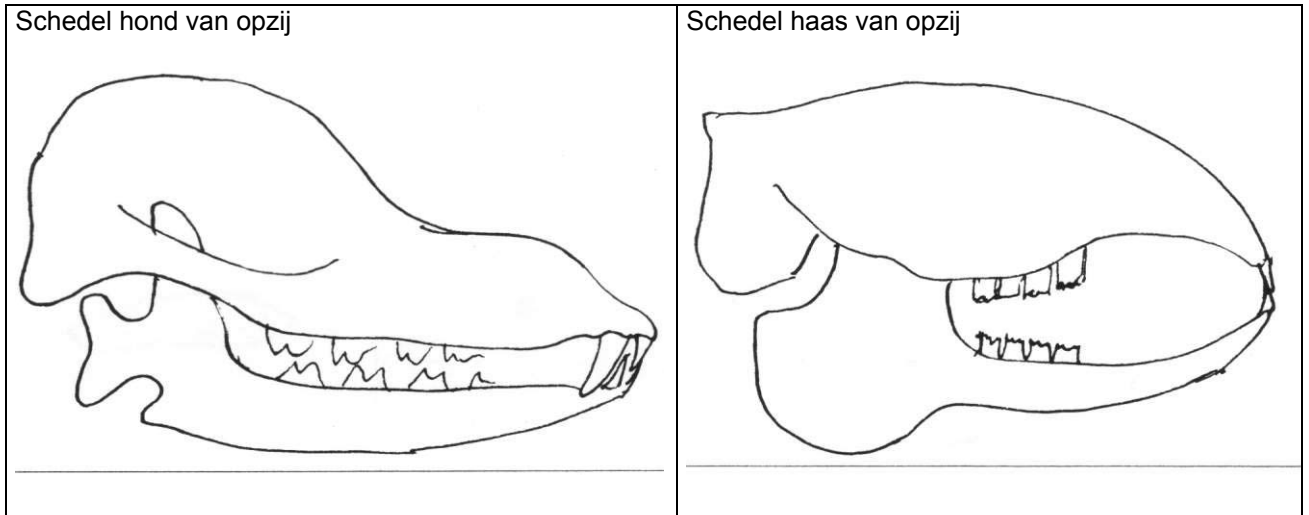
Op de tafel zie je de schedel van een hond en de schedel van een haas.
VOORZICHTIG vastpakken, want ze zijn breekbaar!

VRAAG 1.

Welke schedel is van de hond? Waar kan je dat aan zien?.....

VRAAG 2.

In de schedels zie je de gaten waar de ogen in hebben gezeten.
In de plaatjes hieronder staan die gaten nog niet. **Teken ze erbij.** Bekijk de schedels ook van voren. Zitten de ogen van de hond hetzelfde in de schedel als de ogen van de haas?



VRAAG 3.

Wat is een **voordeel** van ogen die meer opzij staan?.....

Wat is een **nadeel** van ogen die meer opzij staan?.....

VRAAG 4.

Ogen heb je nodig om **voedsel** te vinden en te pakken.
Kan dat iets te maken hebben met de verschillen tussen de ogen van de haas en van de hond?

JA/NEE, WANT.....

VRAAG 5.

Ogen heb je ook nodig om je **vijanden** te zien aankomen.
Kan dat iets te maken hebben met de verschillen tussen de ogen van de haas en van de hond?

JA/NEE, WANT.....

VRAAG 6.

Kan je nu uitleggen waarom ogen van de hond anders in de schedel staan dan die van de haas?

.....
.....

WERKBLAD 16 VRUCHTEN EN ZADEN

Je ziet hier vruchten van drie soorten bomen, de Kastanje, de Hulst en de Es.

In die vruchten zit een **zaad**. Je weet nu dat in een zaad een klein plantje zit, met een 'voedselpakket'.

(denk aan de boon en aan jullie lessen over zaaien)

De vrucht van de Kastanjeboom is al opengesprongen. Je ziet de lege doppen. De kastanje zelf is het zaad.

De vrucht van de Hulst is de bes. Daarin zit een klein zaadje.

De vrucht van de Es is het vleugeltje. Aan de ene kant zie je het zaadje zitten als een kleine verdikking.

VRAAG 1.

Maak van elk van deze vruchten een tekening op ware grootte. Teken bij de Kastanje het zaad en de doppen.

Vrucht van de Es	Vrucht van de Hulst	Vrucht van de Kastanje (doppen en zaad)
------------------	---------------------	--

VRAAG 2. Kijk goed en vul deze tabel in.

VRUCHT	Licht of zwaar	Kleurig of bruin	Sappig of droog	Stevig of snel kapot	Vast aan de boom of los
Es					
Hulst					
Kastanje					

VRAAG 3. Denk goed na en vul deze tabel in.

VRUCHT	Veel of weinig voedsel voor plantje	Vergaat snel/ niet snel	Verspreiding ver of niet ver
Es			
Hulst			
Kastanje			

VRAAG 4.

Wat is een **voordeel** van een zaad met veel voedsel voor het jonge plantje?

.....

Wat is een **nadeel** van een zaad met veel voedsel voor het jonge plantje?

.....

Kan je voorspellen welke van deze drie bomen de meeste nakomelingen zal krijg

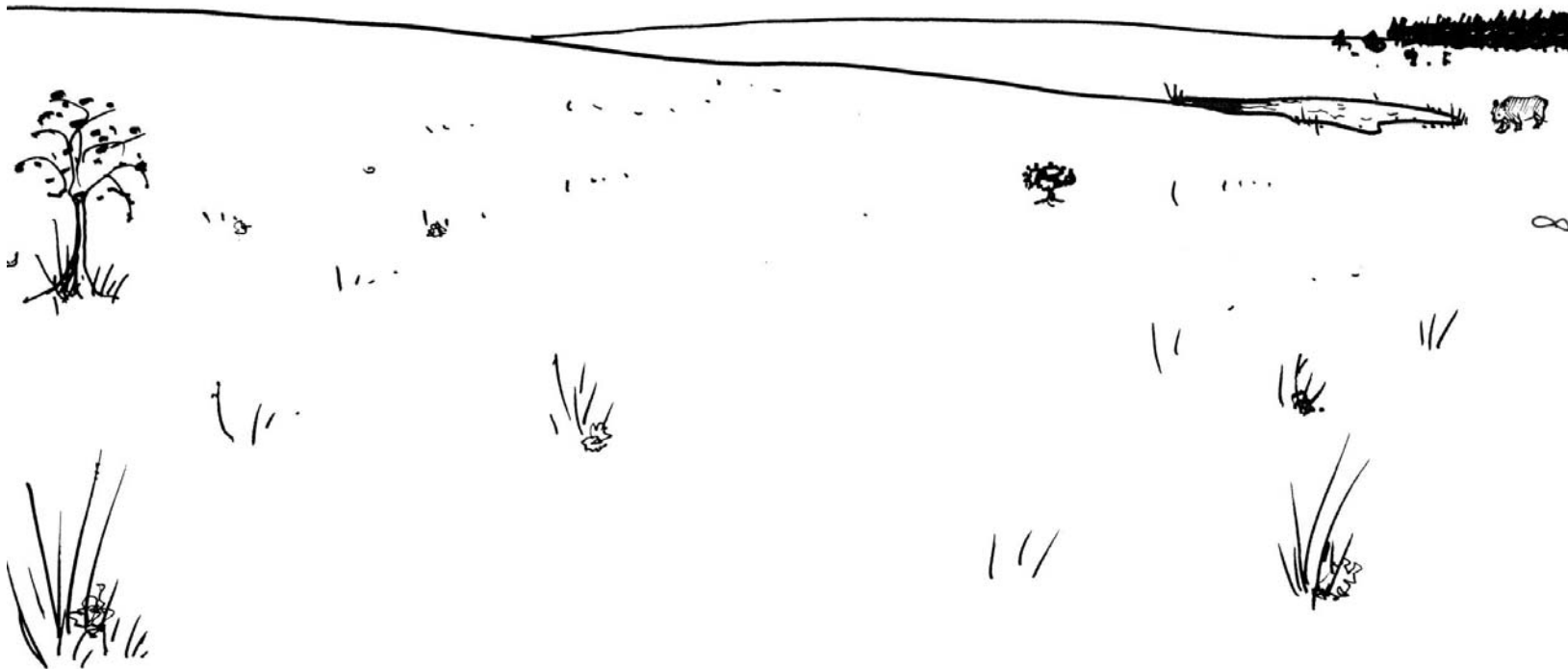
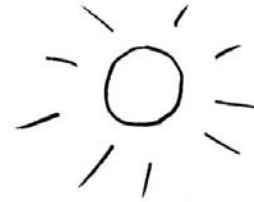
WERKBLAD 17 ONTWERP JE DIER!

De opdracht is om zelf een dier te bedenken dat kan overleven in de volgende omgeving:

- een droge steppe (dus weinig bomen en struiken)
- het voedsel bestaat uit de wortels van kool-planten
- de vijanden zijn slangen die eieren en jongen opeten, en beren
- een klimaat met strenge winters en hete zomers

WAT MOET JE NU DOEN ?

1. Neem werkblad 17B en begin bij de vraag hoe jouw dier zijn voedsel vindt.
2. Ga daarna door met de andere V's..
3. Kijk of het allemaal goed bij elkaar past!
4. Tenslotte maak je een tekening van het dier op werkblad 17C



(BIJ WERKBLAD 17) INFORMATIE OVER DE VIER 'V's

VOEDING

Hoe vindt het dier zijn voedsel?

Sommige dieren vinden hun voedsel door de vorm of kleur te herkennen. Bijen vinden bijvoorbeeld de juiste bloem doordat ze kleuren kunnen zien, zelfs meer dan wij.

Andere dieren vinden hun voedsel op de geur of door te voelen. Varkens en mollen hebben bijvoorbeeld een gevoelige snuit waarmee ze voelen en ruiken tegelijk.

Als er niet zoveel voedsel is, moeten dieren soms van de ene plek naar de andere trekken. Dat betekent dat er ook geen nest kan zijn en dat jonge dieren meteen mee moeten lopen.

Als het dier het voedsel heeft herkend moet hij het ook nog kunnen pakken.

Plantenwortels zitten stevig vast, dus daar moet hard aan getrokken worden. Dat kan met de bek of snavel, maar ook met de poten.

Hoe eet het dier zijn voedsel?

Als een dier het voedsel in de bek heeft, kan hij het niet zomaar doorslikken. Plantenwortels zijn taai en daar moet stevig op gekauwd worden. Je hebt dan een sterk gebit nodig met kiezen die niet snijden, maar malen. Vogels die geen gebit hebben gebruiken soms steentjes in hun maag om mee te malen.

VERDEDIGING TEGEN VIJANDEN

Hoe merkt het dier zijn vijanden op?

Ogen, oren en neus worden veel gebruikt. Sommige dieren voelen ook aan de trillingen van de grond als er iets zwaars aankomt. Dieren waarop gejaagd wordt hebben vaak de ogen opzij van de kop.

Dieren die in groepen leven waarschuwen elkaar.

Hoe zorgt het dier dat het niet wordt opgegeten?

Er zijn veel manieren om te ontsnappen. Snel wegsprinten, in de grond of onder stenen kruipen, een stevig schild of pantser, stekels, afschrikken door geuren, kleuren of geluiden, schutkleur, vies smaken in het water springen etc. Dieren die in groepen leven kunnen ook elkaar beschermen. Roofdieren vinden het moeilijk een hele groep aan te vallen.

VERDEDIGING TEGEN SCHADE

Hoe overleeft het dier in de droge steppe met hete zomers en koude winters?

De gevaren zijn dus droogte, koude en hitte.

's nachts is het koeler en vochtiger, daarom zijn dieren in droge hete streken vaak nachtdieren. Een andere manier is onder de grond leven. In de winter wegtrekken of een winterslaap houden is een manier om de kou te overleven. Andere dieren zorgen ervoor dat ze een dikke vacht krijgen of kruipen met zijn allen bij elkaar.

VOORTPLANTING

Hoe vindt het dier een partner?

Dieren moeten elkaar ergens aan herkennen. Dat kan geluid zijn of een geur, een bepaalde kleur of een verschil in bouw tussen mannetjes en wijfjes. Meestal is er een bepaalde tijd in het jaar dat er paringen plaatsvinden. Bij sommige dieren is er een territorium. Daarmee zorgt een dier ervoor dat er genoeg voedsel is voor zijn jongen.

Hoe beschermt het dier zijn jongen?

Sommige dieren leggen veel eieren en beschermen ze daarna niet of weinig. Andere dieren krijgen minder eieren of jongen en beschermen ze dan. Als er een nest op de grond is moet het moederdier en de jongen een goede schutkleur hebben. Als ze in een hol zitten is dat niet zo nodig. Bij sommige dieren is het jong al vrij groot als het geboren wordt of uit het ei komt. Het kan dan al snel meelopen met de ouders. Dat is vooral belangrijk bij dieren die van de ene plek naar de andere trekken.

WERKBLAD 17B. HOE OVERLEEFT JULLIE DIER?

HOE ZIET HET ERUIT?	WAAR DIENT HET VOOR?
<p>TEKEN OF SCHRIJF HIERONDER HOE JULLIE DIER ZIJN VOEDSEL VINDT, PAKT EN EET.</p>	<p>OM VOEDSEL TE VINDEN EN TE PAKKEN</p> <p>OM ZICH TE VERDEDIGEN TEGEN OPETEN</p> <p>OM ZICH TE VERDEDIGEN TEGEN DROOGTE, HITTE EN KOUDE</p> <p>OM JONGEN TE KRIJGEN EN GROOT TE BRENGEN</p>

OPDRACHTEN ONTWERPERS-QUIZ ACTIVITEIT 12.

Bij de eerste vier vragen krijgen de leerlingen voorbeelden van veren

Vraag 1. Waarvoor dienen de donsveren?	
Vraag 2. Waarvoor dienen de slagpennen?	
Vraag 3. Waarom zijn ze niet hetzelfde?	
Vraag 4. Veren hebben kleuren. Met welke van de 4 V's kunnen kleuren te maken hebben?	

Bij de volgende twee vragen krijgen de leerlingen een puntenslijper

Vraag 5. Geef twee voorbeelden van hoe je aan de vorm van een onderdeel kunt zien waarvoor het dient (bij deze puntenslijper)	
Vraag 6. Op welke manieren zitten de onderdelen van deze puntenslijper aan elkaar vast?	

De laatste vier vragen gaan over het klaslokaal en analogie met het eigen lichaam

Vraag 7. Noem twee dingen in het klaslokaal die te maken hebben met bescherming.	
Vraag 8. Wat wordt er beschermd?	
Vraag 9. Waartegen wordt er beschermd?	
Vraag 10. Is er iets in je lichaam dat je op dezelfde manier beschermt?	

Samenvatting

Samenvatting

Dit onderzoek is voortgekomen uit het probleem van leerstofselectie bij het vak natuuronderwijs. Het inhoudelijk aanbod van natuuronderwijs wordt aangegeven in documenten zoals kerndoelen en domeinbeschrijvingen. Ook binnen deze kaders is echter het aantal mogelijke onderwerpen veel groter dan waar de geringe beschikbare tijd ruimte voor biedt. Bovendien is een belangrijk didactisch uitgangspunt van natuuronderwijs dat leerlingen door eigen onderzoek antwoord vinden op zelf geformuleerde vragen. Naast een inhoudelijk aanbod moet daar in natuuronderwijs dus ook voldoende ruimte voor zijn. Een probleem bij de leerstofselectie is verder dat het vak natuuronderwijs geen heldere vakinhoudelijke structuur heeft. Een dergelijke structuur zou enerzijds richting kunnen geven aan de leerstofkeuze, en anderzijds de leerervaringen die de leerlingen door eigen onderzoek opdoen kunnen structureren. De probleemstelling waar dit onderzoek mee begonnen is, betreft de vraag hoe leerlingen en leerkrachten geholpen kunnen worden bij het structureren van leerervaringen, zonder dat daarmee de vragen van en de verkenning door de leerlingen in het gedrang komen.

In dit onderzoek wordt een oplossing voor dit probleem voorgesteld in de vorm van het gebruik van perspectieven in het onderwijs. Met perspectieven worden domeinspecifieke denk- en werkwijzen aangeduid waarmee deskundigen in hun beroepspraktijk de verschijnselen benaderen. Voorbeelden zijn de perspectieven van 'vorm en functie' en van 'eenheid en verscheidenheid'. Perspectieven bepalen daarbij zowel de vragen die aan de verschijnselen zijn te stellen, als de heuristische om antwoorden op die vragen te vinden. Door perspectieven in het onderwijs in te zetten als metacognitieve strategie, zouden kinderen kunnen leren welke vragen er aan de verschijnselen te stellen zijn en hoe zij deze zelf kunnen beantwoorden. Doordat perspectieven de domeinspecifieke wijzen aangeven waarop deskundigen tegen de werkelijkheid aankijken, kunnen perspectieven tevens de vakinhoudelijke structuur vormen waarmee de leerlingen hun leerervaringen kunnen structureren.

De mogelijkheid om perspectieven als domeinspecifieke metacognitieve strategie binnen natuuronderwijs te laten verwerven, is in dit onderzoek onderzocht door exemplarisch het vormfunctieperspectief uit te werken voor gebruik in het onderwijs. De vraagstelling van dit onderzoek is:

Hoe kunnen leerlingen in het basisonderwijs het vormfunctieperspectief als metacognitief instrument verwerven?

Deze vraagstelling is onderzocht door middel van ontwikkelingsonderzoek. Hiertoe is een onderwijsleerstrategie voor groep 7/8 ontworpen die gericht is op het verwerven en toepassen van het vormfunctieperspectief. Om deze onderwijsleerstrategie te kunnen ontwikkelen is eerst onderzocht wat het vormfunctieperspectief inhoudt in het biologisch onderzoek en in het technisch ontwerpen, omdat natuuronderwijs zowel biologische als technische onderwerpen omvat. Vervolgens is onderzocht welke theorieën over leren en onderwijzen relevant zijn voor het opzetten van een onderwijsleerstrategie voor het verwerven van een perspectief. De onderwijsleerstrategie die op basis van de resultaten van deze twee deelonderzoeken is ontwikkeld, is vervolgens uitgewerkt in een gedetailleerd scenario. Dit scenario is in de onderwijspraktijk uitgevoerd om de adequaatheid ervan voor het verwerven van het

vormfunctieperspectief vast te kunnen stellen. Daarbij is nagegaan in hoeverre het beoogde leerproces is opgetreden.

In hoofdstuk 2 wordt het onderzoek beschreven naar de inhoud van het vormfunctieperspectief in biologisch onderzoek en in technisch ontwerpen. Hiertoe is literatuur verzameld over dit onderwerp en zijn deskundigen geraadpleegd. De uitkomsten van dit onderzoek zijn geïntegreerd in een model van het vormfunctieperspectief.

Het bij elkaar passen van vorm en functie is in de historische ontwikkeling van de biologie op verschillende wijzen verklaard. Totaan Darwin's evolutietheorie bestond de verklaring uit een Schepper of een doelgerichte factor, waarbij de te vervullen functies bepaalden welke vorm ontstond. Darwin's evolutietheorie verklaart het bij elkaar passen van vorm en functie door de voortdurende selectie op die eigenschappen die de bezitter een grotere kans geven op overleving en nakomelingschap. In die theorie is de functie geen oorzaak van de vorm, maar het gevolg ervan. Functies leken daarmee als verklarende factor uitgespeeld en onderzoek naar de functie van een verschijnsel leek niet meer zinvol. Dat veranderde met name door het onderzoek van Tinbergen, waarin werd aangetoond dat de vraag naar de functie van gedrag beantwoord kan worden door de overlevingswaarde ervan te onderzoeken. Inmiddels hebben functionele verklaringen naast causale verklaringen weer een plaats gekregen in de biologie. Functionele verklaringen geven aan welk probleem ten aanzien van de overleving het betreffende organisme zou krijgen indien het bestudeerde verschijnsel anders of afwezig zou zijn, en maken daarmee aannemelijk dat het verschijnsel door natuurlijke selectie is ontstaan.

Een recente discussie betreft de kwestie of de vraag naar de functie wel bij elke structuur of proces gesteld kan worden. Er zijn namelijk veel voorbeelden waarbij andere factoren dan natuurlijke selectie de vorm hebben bepaald, zoals het founder principle en gene linkage. Zolang de vraag naar de functie echter toetsbare hypothesen oplevert is er geen bezwaar tegen om deze te stellen.

In dit onderzoek wordt onder vorm de verschijningsvorm van een kenmerk in ruimte, materiaal en tijd verstaan. Hierbij worden onder kenmerk zowel structuren als processen gerekend, op alle organisatieniveaus tot en met het organisme. Onder functie wordt in dit onderzoek zowel de bijdrage aan het functioneren van het suprasysteem als de overlevingswaarde verstaan. De functie als overlevingswaarde is nader gespecificeerd in vier functies ten aanzien van het medium, voeding, vijanden en voortplanting.

De vragen die biologen vanuit het vormfunctieperspectief aan verschijnselen stellen zijn te herleiden tot de volgende vier typen:

- I. *Waarvoor dient kenmerk X?*
Dit betreft het zoeken van een onbekende functie bij een bekend kenmerk
- II. *Welke oplossing is er voor functie Y?*
Dit betreft het zoeken van een onbekend kenmerk bij een bekende functie
- III. *Hoe werkt kenmerk X?*
Dit betreft het verklaren op welke wijze een bekend kenmerk bijdraagt aan een bekende functie.
- IV. *Waarom heeft kenmerk X vorm A en niet vorm A'?*
Dit betreft het verklaren waarom een bekende vorm een betere oplossing is voor een bekende functie dan plausibele alternieven (counterfactuals).

Samenvatting

Om antwoord te vinden op deze vragen worden in biologisch onderzoek verschillende heuristieken gehanteerd. Deze heuristieken hebben gemeen dat zij in hun redenering heen en weer gaan tussen vorm en functie. Er is een ‘weg bovenlangs’ van vorm naar functie waarbij de vraag gesteld wordt via welk effect de vorm bijdraagt aan de functie, en er is een ‘weg onderlangs’ van functie naar vorm. De vraag die daarbij gesteld wordt, is welke ontwerpeisen zijn af te leiden uit de te vervullen functie. De heuristieken kunnen zowel bij de vorm als bij de functie starten, en boven- of onderlangs in beide richtingen gaan. Vandaar dat de denkwijze in het vormfunctieperspectief hier aangeduid wordt met heen-en-weer-denken.

De definities van vorm en functie in technisch ontwerpen en biologisch onderzoek blijken goed op elkaar aan te sluiten doordat in beide terreinen het systeemdenken een belangrijke rol speelt. Ook in de techniek wordt als functie van een product de causale rol ten opzichte van het suprasysteem gehanteerd. Het begrip ontwerp komt overeen met het begrip vorm zoals dat in de biologie wordt gehanteerd. Het ontwerp legt enerzijds de structuur vast in voorschriften voor de ruimtelijke vorm, het materiaal en de bewerking. Daarnaast bevat een ontwerp beschrijvingen van het proces, namelijk de interactie van de onderdelen. Hierbij horen ook de voorschriften voor het gebruik, waarbij de mens deel uitmaakt van het systeem product + gebruiker.

Bij technisch ontwerpen gaat het in eerste instantie om het zoeken van een nog niet bestaande vorm bij een bekende functie. Dit komt overeen met vraag II, waarbij het in biologisch onderzoek gaat om het zoeken van een bestaande oplossing, en bij technisch ontwerpen om het bedenken van een nieuwe oplossing. Bij het ontwerpproces worden heuristieken gehanteerd waarbij evenzeer als in biologisch onderzoek heen-en-weer-denken wordt toegepast. Deze heuristieken komen deels overeen met de heuristieken binnen biologisch onderzoek. Het blijkt mogelijk het vormfunctieperspectief voor biologisch onderzoek en technisch ontwerpen te beschrijven met hetzelfde model. Dit is in wezen een intentioneel model, waarbij voor biologisch onderzoek geldt dat termen zoals ontwerp in de ‘alsof-vorm’ worden gebruikt.

In hoofdstuk 3 is onderzocht welke theorieën over leren en onderwijzen relevant zijn voor het opzetten van een onderwijsleerstrategie voor het verwerven van een perspectief. Perspectieven blijken al of niet met dezelfde term ook door andere auteurs en in andere vakken te worden gehanteerd als domeinspecifieke metacognitieve strategieën. Perspectieven zijn bij uitstek methoden voor eigen kennisconstructie, en sluiten daarmee aan bij een constructivistische visie op leren, waarbij de leerling zelf kennis construeert op basis van de aanwezige voorkennis. De expliciete aandacht die er via perspectieven wordt gegeven aan de wijze van kennisconstructie, sluit ook goed aan bij de cultuurhistorische visie op leren, waarin de leerkracht een taak heeft in het leren construeren van kennis. Zowel het sociaal constructivisme als de cultuurhistorische visie wijzen op het belang van gezamenlijke kennisconstructie, waarbij de leerling met de medeleerlingen en leerkracht in dialoog gaat. Hierbij moeten leerkracht en leerling beiden hun denken en handelen expliciteren om communicatie daarover mogelijk te maken. Perspectieven moeten inzetbaar zijn in een reeks uiteenlopende situaties. Dat betekent dat de transfer van het geleerde erg belangrijk is. Vanuit de theorieën over transfer komt naar voren dat perspectieven het beste aangeleerd kunnen worden in een realistische context, waarna vervolgens door toepassen in andere contexten het

perspectief zichtbaar wordt als het gemeenschappelijke in de werkwijze in beide contexten. Om de leerling het vormfunctieperspectief als metacognitieve strategie te laten verwerven, is het verder nodig dat de leerling regelmatig reflecteert op haar/zijn handelen. Ook hiervoor is het expliciteren van denken en handelen weer van belang. Tenslotte wordt voor het aanleren van complexe vaardigheden en relaties in de literatuur aangeraden om te werken met een kleine inhoudelijke kern, die in de loop van het leerproces wordt uitgebreid.

Hoofdstuk 4 beschrijft de onderwijsleerstrategie die is ontwikkeld voor het verwerven van het vormfunctieperspectief. Eerst is vanuit de beschrijving van het vormfunctieperspectief in hoofdstuk 2 een vertaling gemaakt naar leerdoelen voor natuuronderwijs, waarbij het heen-en-weer-denken als metacognitieve strategie is beschreven. Hiervoor is belangrijk dat de leerling niet alleen de afzonderlijke handelingen uitvoert, maar ook in staat is om het heen-en-weer-denken in verschillende contexten toe te passen, en over deze handelingen te communiceren. Een belangrijk element in de onderwijsleerstrategie is het gebruik van cognitive apprenticeship. Deze aanpak voldoet aan een groot deel van de criteria die in hoofdstuk 3 zijn aangegeven, namelijk het aanleren in een realistische context, het expliciteren van denken en handelen door leerkracht en leerling, en de reflectie op het eigen handelen. Daarbij demonstreert de leerkracht eerst hardopdenkend de handeling, waarna de leerlingen zelf de handeling uitvoeren. De begeleiding van de leerkracht neemt hierbij geleidelijk af. Een tweede belangrijk element is de keuze voor een inhoudelijke kern van het vormfunctieperspectief in de vorm van de ontwerpersbril. De ontwerpersbril is een schema, gebaseerd op het model van het vormfunctieperspectief, waarin de leerling de leerervaringen noteert en zo geleidelijk het vormfunctieperspectief gestalte ziet krijgen. De onderwijsleerstrategie bestaat uit 12 activiteiten, waarbij in de eerste helft technische objecten worden ontworpen en bestudeerd, en in de tweede helft biologische verschijnselen. Het technische deel start met een ontwerpactiviteit, dus met een vraag van functie naar vorm (vraag type II). Bij de presentatie van de ontwerpen expliciteren en becommentariëren de leerlingen hun ontwerpen, waarbij vragen van type III en IV een rol spelen. Dit wordt aangeduid als ontwerpdiscussie. Vervolgens bestuderen de leerlingen voorwerpen, waarbij ze onderdelen onderscheiden en daarbij de vraag stellen waar deze voor dienen (vraag type I). Ook hier wordt verdergegaan met vragen van type III en IV, waarbij het de bedoeling is dat het heen-en-weer-denken leidt tot nieuwe waarnemingen en nieuwe vragen. Het biologische deel begint met de analyse van biologische verschijnselen op dezelfde manier als ze gedaan hebben met de technische ontwerpen (vraag I, III en IV). Vervolgens worden de vier hoofdfuncties ten aanzien van het overleven geïntroduceerd als de vier V's van Voeding, Verdediging tegen vijanden, Verdedigen tegen schade en Voortplanting. Tenslotte wordt vanuit deze functies weer de vraag van functie naar vorm (vraag II) gesteld door de leerlingen een dier te laten ontwerpen dat kan overleven in gegeven omgevingscondities. Bij de presentatie en het commentaar van de medeleerlingen spelen weer de vragen III en IV een rol. De eerste en tweede helft worden beide afgesloten met een vragenlijst waarmee de leerling wordt uitgenodigd om te reflecteren op het vormfunctieperspectief.

In hoofdstuk 5 is de onderzoeksprocedure beschreven die gevolgd is om de adequaatheid van het scenario te testen. Hierbij is de vraag naar de adequaatheid van het

Samenvatting

scenario vertaald in de vraag of de leerling gedurende het onderwijsleerproces leert te redeneren van vorm naar functie en andersom, en in de vraag of de leerling het vormfunctieperspectief als metacognitief instrument kan hanteren.

Voor onderdelen van het vormfunctieperspectief is het scenario adequaat gebleken. Hierbij heeft het scenario deels nieuwe handelingen aangeleerd, deels handelingen waarover leerlingen al beschikten, gearticuleerd. In het algemeen blijken leerlingen in staat om bekende vormfunctierelaties onder te brengen in het schema van de ontwerpersbril. Leerlingen blijken echter vaak kenmerken over het hoofd te zien als zij daarvoor geen functie weten. Een uitgebreide begeleiding van de leerkracht is nodig om leerlingen te leren onderdelen en hun deelfuncties te onderscheiden van het geheel en van de functie van het geheel. Het scenario heeft leerlingen gestimuleerd tot ontwerpen, waarbij zowel technische als biologische ontwerpen zijn gemaakt. Leerlingen blijken daarbij goed in staat om deze ontwerpen te verdedigen en te becommentariëren. Bij deze ontwerpdiscussies kon de rol van de leerkracht beperkt blijven tot het structureren en benoemen van elementen uit de discussie. Bij ontwerpdiscussies over bestaande ontwerpen was coaching door de leerkracht wel nodig. In groepjes lukt het de leerlingen nog niet om zelfstandig deze discussies te voeren. Het voeren van een ontwerpdiscussie gaat overigens beter indien meerdere ontwerpen vergeleken kunnen worden. Als één bestaand ontwerp verklaard moet worden via vergelijking met plausibele alternatieven (counterfactuals), verloopt de discussie moeizamer. Met name voor biologische verschijnselen hebben leerlingen moeite met het bedenken van counterfactuals en vinden ze een discussie daarover weinig zinvol. Het gebrek aan kennis over planten bemoeilijkt ontwerpdiscussies over plantaardige verschijnselen. Een factor die het leggen van vormfunctierelaties vergemakkelijkt, is het verkleinen van de zoekruimte door het laten kiezen uit gegeven alternatieven, bijvoorbeeld door een specifieke counterfactual te plaatsen naast het bestaande ontwerp. In het algemeen is gebleken dat een ontwerpdiscussie even goed kan starten vanuit de vorm als vanuit de functie. In deze ontwerpdiscussies zijn meerdere typen van heen-en-weer-denken naar voren gekomen.

Het gebruik van het vormfunctieperspectief om *nieuwe* kennis mee te verwerven bleef in deze uitvoering nog afhankelijk van de coaching door de leerkracht. Dat wil zeggen dat dit leerdoel in principe wel haalbaar is, maar dat het scenario nog niet adequaat gebleken is om het vormfunctieperspectief door de leerlingen te laten verwerven als onderdeel van hun eigen denken en handelen. Hierbij speelt niet alleen het begrip van het vormfunctieperspectief een rol, maar ook de erkenning van dit soort leerresultaten door de leerlingen. Hoewel naar het oordeel van de onderzoeker en de leerkrachten interessante ontwerpdiscussies plaatsvonden, waarin het heen-en-weer-denken leidde tot nieuwe kennis, ervoeren de leerlingen het op deze manier kijken naar verschijnselen maar ten dele als zinvol. Een ander probleem dat zich voordeed is dat leerlingen niet uit zichzelf veronderstellingen formuleren, en evenmin geneigd waren om hun kennis ter discussie te stellen. Verder blijkt het schema van de ontwerpersbril nog te ingewikkeld om zelfstandig mee te werken. Ten aanzien van de metacognitie heeft het scenario ertoe geleid dat de leerlingen een redelijk beeld verwerven van de objecten waarop het vormfunctieperspectief van toepassing is, zonder dat zij daar expliciet het functiecriterium bij betrekken. Daarbij blijken sommige leerlingen in staat het werken met het vormfunctieperspectief te verwoorden als een procedure. Een deel van de leerlingen ervaart de ontwerpdiscussies en het terugkerend schema van de ontwerpersbril als negatief. Een ander

deel van de leerlingen geeft juist aan door de lessen opmerkzamer te zijn geworden, en vindt de ontwerpdiscussies interessant.

Hoofdstuk 6 bevat de discussie over de resultaten het onderzoek van het scenario, en een aanzet tot een vervolg. In een aantal opzichten week het onderwijsleerproces af van de verwachting. Belangrijke factoren die hierbij een rol speelden waren de voorkennis van leerlingen en de opvattingen van leerlingen over kennis en leren. Ontbrekende onderdelen in de voorkennis waren onder andere inzicht in de samenwerking van onderdelen in een systeem, waardoor onderdelen vaak over het hoofd werden gezien of genegeerd. Leerlingen bleken verder onzekere kennis niet te accepteren, waardoor zij weinig geneigd waren veronderstellingen te formuleren, en evenmin om kennis ter discussie te stellen.

Ten aanzien van de haalbaarheid van perspectieven als leerdoel kan uit dit onderzoek geconcludeerd worden dat met begeleiding van de leerkracht veel leerdoelen toch haalbaar blijken, maar dit betekent een grote tijdsinvestering van zowel leerlingen als leerkrachten. Of deze tijdsinvestering de moeite waard wordt gevonden hangt af van de visie die men op het leergebied natuuronderwijs heeft. De rol van perspectieven daarin zou met name kunnen inhouden dat vragen en opdrachten worden gegenereerd, die verschillende leerervaringen met elkaar in verband kunnen brengen, en op die manier zowel structuur bieden aan de vakinhoud als aan het leren zelf.

De ervaringen met dit scenario geven aanleiding tot herziening van de onderwijsleerstrategie. Daarbij wordt uitgegaan van een opzet die meer gespreid over het leerplan verloopt. Het analyseschema heeft goed gewerkt om de diverse uitingen te categoriseren, en heeft slechts een kleine herordening nodig.

Dit onderzoek heeft bijgedragen aan een domeinspecifieke visie op leren en onderwijzen, door helder te maken welke vragen en heuristische verbonden zijn met het vormfunctieperspectief, en door dit perspectief te vertalen naar het onderwijs. Daarmee is aannemelijk gemaakt dat het in principe mogelijk is om een verbinding te leggen tussen de denk- en werkwijze van deskundigen en het onderwijs in het betreffende leergebied.

Daarnaast heeft het scenario een reeks materialen opgeleverd die in diverse vormen van onderwijs te gebruiken en aan te passen zijn.

Vervolgonderzoek zou zich kunnen richten op de verdere uitwerking van het vormfunctieperspectief in natuuronderwijs. Daarnaast is het vormfunctieperspectief uit te breiden naar het opleidingsonderwijs en voortgezet onderwijs, waarbij aansluiting moet worden gezocht bij andere gehanteerde strategieën. Ten derde kunnen andere perspectieven op vergelijkbare wijze worden ontwikkeld. Tenslotte kan aansluiting gezocht worden bij ander onderzoek naar de ontwikkeling van metacognitie en opvattingen over kennis bij leerlingen in het basisonderwijs.

Samenvatting

Summary

Summary

This study has its origin in the problem of the selection of content in elementary science education. Documents like key targets and domain-descriptions indicate the content of elementary science education. Within these guidelines, however, the amount of possible topics is much larger than the available time permits. Furthermore, an important principle of elementary science education is that the students themselves should formulate questions and investigate them. This means that the available time has to be divided between a prescribed content and the investigation of student questions. The selection problem is complicated by the absence of a clear conceptual structure for science education. Such a conceptual structure might direct the selection of content, and on the other hand structure the diverse experiences that the students encounter during their own investigations. The problem that lies at the heart of this research concerns the question how students and teachers can be assisted in the structuring of experiences, without constraining the spontaneous questions and investigations by students.

In this research, the use of perspectives is proposed as a solution to this problem. Perspectives are defined as domain-specific thinking- and working strategies which experts use in their practice. Examples of perspectives in biology are the perspective of form and function, and the perspective of unity and diversity. Perspectives indicate the questions experts ask, as well as the heuristics that they use to answer them.

By teaching perspectives as a metacognitive strategy, students could learn which questions can be asked of the phenomena, and where they can start to find an answer.

As perspectives indicate domain-specific ways in which experts view the world, perspectives can also provide a conceptual structure which can be used by students to structure their learning experiences.

The possibility to acquire perspectives as a metacognitive strategy has been investigated in this research by elaborating the perspective of form and function as an example. The research question was formulated as follows:

How can elementary school students acquire the perspective of form and function as a metacognitive strategy?

This research question has been investigated by developmental research. A learning and teaching strategy (LTS) for the acquisition and practice of the perspective of form and function, has been developed for students around age 11. In order to develop this LTS, a first research was done to investigate and compare the content of the perspective of form and function in biological research and in technical design, because both biological and technical subjects form part of the science curriculum. A second investigation concerned the theories about learning and teaching, which are relevant for the development of a LTS for the acquisition of the perspective of form and function. The LTS, based on these first two researches, has been further elaborated in a detailed scenario. This scenario was tested in elementary school practice in order to determine the adequacy of the scenario. The main part of the test concerned the question whether in reality the learning processes developed along the lines as planned in the scenario.

Chapter 2 describes the research into the content of the perspective of form and function in biological research and technical design. Information was gathered by means of a

literature study and the consulting of experts. The results of this research have been integrated into a model of the perspective of form and function.

In the historical development of biology, the match of form and function has been explained in different ways. Until Darwin's theory of evolution, this match was explained by the existence of a Creator or a goal-directed factor, thus implying that the form was prescribed by the function. Darwin's theory of evolution explains the match of form and function by the continuous selection of those properties that allows for a greater chance of survival and reproduction. In this theory, function is not the cause of form, but the effect. The role of functions as an explanatory factor of form seemed past, and functional questions seemed useless. This attitude versus functional questions was changed specifically by Tinbergen's research, which proved that questions about the function of behavior can be answered by experimentally investigating its survival value. Nowadays functional explanations have found their place next to causal explanations in biology.

A recent discussion concerns the question whether functional questions are relevant for every biological structure or process. There are quite a number of examples in which other factors than natural selection determine the form, like the founder principle or gene linkage. However, as long as a functional question generates hypotheses that can be tested, there is no objection to ask them.

In this research, form is defined as the material, spatial and temporal properties of a feature. A feature can be either a structure or a process, on all levels of biological organization. In this research, function is defined both as the contribution to the functioning of the system of which the feature forms a part (the suprasystem), and as the contribution to the survival value. Function as contribution to survival value is further specified in four main functions concerning the medium, food, enemies and reproduction.

Questions biologists ask about phenomena from the perspective of form and function can be reduced to the following four types:

- I. *What is the function of feature X?*
This question concerns the search for the unknown function matching a known feature.
- II. *Which solution can be found for function Y?*
This question concerns the search for an unknown feature matching a known function.
- III. *How does X work?*
This question concerns the explanation of the way in which a certain feature contributes to a certain function.
- IV. *Why has feature X form A and not form A' ?*
This question concerns the explanation why a certain form is a better solution to a problem than plausible alternatives (counterfactuals).

In order to answer these questions, several heuristics are in use in biological research. These heuristics have in common that in their reasoning they go 'hither and thither' between form and function. There is a 'high road' and a 'low road' between form and function. The 'high road' explains via which effect a feature contributes to a function. The 'low road' indicates which design-specifications can be derived from the function in the search for a fitting form. The heuristics can start both at the form and at the function, and go in both

Summary

directions over the ‘high road’ or the ‘low road’. That is why this way of reasoning in the perspective of form and function is indicated as ‘hither-and-thither-thinking’.

The definitions of form and function can be used both in technical design and in biological research, as in both domains system thinking has an important place. In technical design the function of a product may also be defined as the causal role in respect to the suprasystem. The concept of design is comparable to the concept of form in biology. The design determines on the one hand the structure via prescriptions for the spatial form and the material. On the other hand the design contains descriptions of the process, in the form of the interaction of the parts. The prescriptions for use also form part of the design, which means that often man forms part of the product-user system. In technical design, the main activity is the search for a form, matching a known function. This is a variant of the type II question, which in biological research means the search for an *existing* solution, whereas in technical design it means the developing of a *new* solution. In the design-process, as often as in biological research, ‘hither-and-thither-thinking’ is used in the heuristics. These heuristics are partly the same as in biological research. It proves possible to use the same model to describe the perspective of form and function for biological research and for technical design. This model is essentially an intentional model, in which in biological research terms like design are used in an ‘as-if’ form.

Chapter 3 describes the search for theories about learning and teaching that are relevant in finding a LTS for the acquisition of a perspective. Perspectives - sometimes under a different name - are used by other authors and in other subjects as domain-specific metacognitive strategies. Perspectives are essentially methods for knowledge construction, and are in line with a constructivist view on learning, in which it is the student who constructs knowledge, based on pre-existing knowledge. The explicit attention perspectives offer to the ways in which knowledge is constructed, is also in line with the cultural historical view on learning, in which the role of the teacher is to teach how to construct knowledge. Both social constructivism and the cultural historical view emphasize the importance of a shared construction of knowledge, in which the student enters a dialogue with peers and with the teacher. Both student and teacher have to explicit their thoughts and actions to make them communicable. Perspectives have to be applicable in different situations. This means that transfer of the things learned is very important. Theories on transfer show that perspectives can best be acquired in a realistic context. By application in other contexts the perspective becomes more explicit as a cognitive tool. Furthermore, the student has to be encouraged to reflect regularly on his/her actions in order that the perspective is acquired as a metacognitive strategy. Here also it is important to put their thoughts and actions into words. In literature concerning the learning of complex skills, the use of a small nucleus of content is advised. This nucleus contains the main relations and concepts in a schematic form, and can act as a growing ‘germ cell’ during the learning process.

Chapter 4 describes the development of the teaching and learning strategy for the acquisition of the the perspective of form and function. Firstly the perspective of form and function, as described in chapter 2, was translated into objectives of science education. The ‘hither-and-thither-thinking’ was elaborated upon as a metacognitive strategy. For

metacognition the student not only has to demonstrate the different actions, but must also be able to apply the hither-and-thither-thinking in different contexts, and explain his thoughts and actions to others. An important element of the LTS is the use of cognitive apprenticeship. This method meets most of the criteria that have been formulated in chapter 3, such as learning in a realistic context, explaining thoughts and actions by student and teacher, and reflection on these activities. In cognitive apprenticeship the teacher starts with demonstrating the activity while thinking aloud. Then the students themselves practice the activity, while the guidance by the teacher gradually fades. A second element of importance is the choice of a nucleus of content in the form of the 'designer's view'. The designer's view is a scheme in which the student writes down his observations and thoughts, and so gradually constructs the perspective of form and function. The LTS consists of 12 activities, of which the first half concerns the study of technical designs, and the second half the biological phenomena. At the end of both first and second half of the LTS a questionnaire invites the student to reflect on the perspective of form and function. The technical part starts with a design-activity, which means a question from function to form (type II question). During the presentation of the designs, the students explicit and comment their designs, during which type III and IV questions play a role. Secondly, students study objects, discriminating parts and questioning their functions (type I question). Here also, type III and IV questions arise, which should lead via hither-and-thither-thinking to new observations and new questions. The biological part starts with the analysis of biological phenomena in the same way as the students did with the technical objects (type I, III and IV questions). Next, the four main functions for survival are introduced as the four V's (in Dutch Voeding (Food), Verdediging tegen vijanden (Defense against enemies), Verdediging tegen schadelijk milieu (Defense against harmful environment) and Voortplanting (Reproduction)). Finally, starting from these functions, the students are asked to design an animal that can survive in given conditions of the environment (type II question). Type III and IV questions once again play a role during the presentation and commentary by the students.

Chapter 5 describes the procedure that has been used in the research of the adequacy of the scenario, as well as the results. The criteria for adequacy of the scenario were firstly: whether during the learning process the student learns to reason from form to function and vice versa, and secondly: whether the student can use the perspective of form and function as a metacognitive strategy.

The scenario proved adequate for parts of the perspective of form and function. The scenario taught some new skills and articulated other skills that the students already possessed. In general, students were able to categorize known form-function relations in the 'designer's-view' scheme. However, students often appear to overlook features when they don't know their function. Extensive modeling and coaching is necessary to teach students to discriminate parts from the whole and the functions of the parts from the function of the whole. The scenario stimulated students in design activities, both in creating technical and biological designs. Students were able to defend their designs and comment on them. During these presentations the role of the teacher could be limited to structuring and reformulating elements of the discourse. Coaching by the teacher was necessary, however, during discourses on existing designs. The students were not yet able to talk about these designs independently

Summary

in groups. Discourses on design went better when several designs could be compared. When there was only one design to explain in comparison to plausible alternatives (counterfactuals), the discourse was less productive. Especially when discussing biological phenomena, students found it difficult to formulate counterfactuals and considered these discussions to be useless. A lack of knowledge about plants made discussions about features of plants even more difficult. Reducing the problem-space by giving a choice between given alternatives enhanced the explaining of form-function relations, for example by comparing a specific counterfactual with the existing design. In general, discourses about design could start as well from form as from function. Several types of hither-and-thither-thinking arose during these discourses.

The use of the perspective of form and function to construct *new* knowledge remained dependent on coaching by the teacher in this case-study. This means that this objective could in principle be reached, but that the scenario has not yet proven adequate to make the perspective of form and function an integral part of the thoughts and actions of the students. Apart from the understanding of the concept of perspective, an important factor was the appreciation of this kind of learning results by students. Though the researcher and the teachers observed interesting discourses, in which hither-and-thither-thinking led to new knowledge, many students experienced this way of studying phenomena as not very useful. Furthermore, the scheme of the ‘designers view’ was too complicated for them to use independently. As for metacognition, the scenario enabled most students to select the phenomena on which the perspective of form and function was applicable or not. Strangely enough, most students did not use the function-criterion in this selection process. The practical activities were the most appreciated part of the scenario. After several lessons, some of the students did not appreciate the discourses and reflections about design, whereas others indicated that the lessons made them more alert in their observation, and found the discourses interesting.

Chapter 6 contains the discussion about the results, and a proposal for future activities. In several aspects, the learning process did not meet expectations. Important factors were the students’ knowledge and their opinions on knowledge and learning. Missing elements in knowledge were among other things, the lack of insight in how parts work together in a system. This caused the student to overlook or neglect parts. Students did not accept uncertainty in knowledge, which caused reluctances both to formulate hypotheses and to express doubts about knowledge.

The question remains whether perspectives form an attainable goal in elementary science education. Most goals proved to be attainable with coaching by the teacher, but this requires a large investment in time, both by the students and the teachers. Whether this investment is worthwhile, depends on the vision one has on elementary science education. The role of perspectives in science education is primarily the generating of questions and the linking of diverse experiences in a coherent structure.

The experiences with this scenario are a reason for revision of the LTS and of the objectives that were derived from the perspective of form and function. In this revision the strategy should be more spread out over the curriculum.

This study has contributed to a domain-specific philosophy of learning and teaching, by clarifying which questions and heuristics are linked to the perspective of form and function, and by translating this perspective to education. The possibility of linking the ways

experts think and act to education has been shown in principle. Apart from that the scenario has produced a number of materials that can be used in several types of education.

Future research could be directed to the further development of the perspective of form and function in elementary science education. Apart from that the perspective of form and function can be applied in higher levels of education. Thirdly, other perspectives can be elaborated in an analogous way. And, a link can be made with other research concerning the development of metacognition and epistemological concepts in elementary education.

Dankwoord

Dit proefschrift is opgedragen aan mijn ouders. Uit de citaten op de opdrachtpagina is te zien dat mijn vader steeds de relatie tussen onderwijs en maatschappij voor ogen stond, terwijl mijn moeder meer uitging van het individu en diens voorgeschiedenis. Hoe ouder ik word, hoe meer ik merk hoeveel ik van hen heb geleerd. Ik ben blij hen op deze manier te kunnen eren.

Arend Jan en Kerst, toen ik jullie benaderde om mijn promotieonderzoek te begeleiden heb ik me niet gerealiseerd hoeveel werk ik jullie daarmee bezorgde. Dat kwam denk ik ook door jullie taakopvatting, waarin steeds alle ruimte was voor grondige discussie en gedetailleerde bijschaving tot we het eens waren over het product. Ik heb dat heerlijke gesprekken gevonden waarin ik weer even student mocht zijn (weer op de fiets naar de Uithof!). Arend Jan, onze paden kruisten elkaar regelmatig, en ik hoop dat dat blijft doorgaan.

Anja, Hans en Kees, ook jullie heb ik veel werk bezorgd, en achteraf heb ik me gerealiseerd met hoe weinig instructie jullie eigenlijk iets heel nieuws hebben moeten begeleiden. Met minder ervaren en enthousiaste leerkrachten was dit onderzoek echt in de mist gegaan. Ook jullie leerlingen, die nu al lang op het voortgezet onderwijs zitten, ben ik zeer dankbaar. Ik hoop dat ze af en toe nog eens terugdenken aan de ontwerpersbril, en hem misschien zelfs nog eens opzetten.

Het is bemoedigend als je bezig bent met een onderzoek dat er zoveel mensen zijn die je vraag om hulp meteen beantwoorden en daar vaak veel tijd in steken. Marc de Vries wees me de weg in het voor mij onbekende land van de techniek, Arno Wouters' proefschrift en commentaar hebben mij een essentiële onderbouwing gegeven voor het functiebegrip. Dank ook aan Bert van Oers voor diens belangstellende inbreng, en aan al die mensen die mij met gesprekken, artikelen of adviezen hebben geholpen: Fred Janssen, Jan van den Akker, Ellen van den Berg, Adriaan Ackers, Rob Visser, Jacques Diederik, Sietske Roegholt, Bets Ploegmakers, Tjitse Bouwmeester, Thecla Rondhuis, Cees Both, Kees Bleyerveld, Peter Conijn, Marianne Uylings, dr.Drukker. Veel dank ook aan Jo Esser, voor zijn onmisbare hulp bij de afbeeldingen en de digitale verwerking en Madonna Stephens voor de hulp bij de engelse vertaling.

Dit proefschrift vormt niet de start van mijn carrière, en hopelijk ook niet het slot. Dat betekent dat dit ook een neerslag is van vijftientig jaar onderwijservaring, vanaf het werk aan de onderwijsvernieuwing op de faculteit Biologie, via het Moller Instituut, het Instituto Pedagogico Arubano, en een kort intermezzo aan de Hogeschool Rotterdam. Aan al mijn collega's en studenten die aan mijn ontwikkeling hebben bijgedragen, veel dank. Een speciaal woord van dank voor Frans Keuchenius, die aan de wieg stond van mijn didactische loopbaan.

Nog eerder in mijn leven, en nog steeds, hebben mijn familie en vrienden mij mede gevormd door hun voorbeeld, belangstelling en warmte. Door jullie verlegen vragen waar mijn onderzoek ook weer precies over ging, werd ik steeds gestimuleerd mijn gedachten te ordenen. Dat ik dan steeds weer een iets ander antwoord gaf zal het voor jullie niet helderder hebben gemaakt, maar voor mij wel. Ik ben jullie dankbaar en nog dankbaarder dat ik jullie heb. Ad en Kees, mijn paranimfen, vertegenwoordigen jullie op de promotiedag.

En in het hart van alles staat mijn eigen familie, zonder welke alles zinloos is. Lola, Gytha en Malu, ik hou van jullie. Lieve Gina, jij had bij deze zwangerschap de mannelijke rol, door de prikkel te geven tot deze ontwikkeling, en daarna in de wachtkamer te ijsberen tot ik mijn geesteskind baarde. Ik ben weer uit de bubble, en volledig beschikbaar voor ons heen-en-weer-denken. Mi ta stima bo.

Dirk Jan

Curriculum Vitae

Dirk Jan Boerwinkel werd geboren op 25 juni 1950 te Driebergen. In 1976 haalde hij zijn doctoraalexamen Biologie (cum laude) aan de Rijksuniversiteit Utrecht. Van 1976 tot 1980 werkte hij als onderwijskundig begeleider van de subfaculteit biologie aan de herprogrammering van de universitaire biologiestudie. Van 1980 tot 1990 was hij als docent verbonden aan de tweedegraadslerarenopleiding biologie van het Moller Instituut te Tilburg, het laatste jaar tevens als vakgroepleider van de vakgroep gezondheidskunde. In deze functies ontwikkelde hij onder andere een Studium Generale over intercultureel onderwijs, en cursussen over onderzoeksmethodiek, geschiedenis en filosofie van de biologie. Daarnaast voerde hij in die perioden diverse projecten uit voor de SLO en als lid van de commissie kerndoelen biologie voor de Basisvorming. In 1990 kreeg hij een aanstelling aan het pas opgerichte Instituto Pedagógico Arubano, de lerarenopleiding op Aruba. Naast het medeontwikkelen van de opleiding coördineerde hij de projectgroep Natuur- en Milieueducatie en het Caribbean Sea Project van de Unesco, was medeoprichter van de natuurvereniging Stimaruba en publiceerde over natuur en milieu van Aruba. De periode op Aruba werd onderbroken door een periode van 1997 tot 2000, toen hij verbonden was aan de pabo van de Hogeschool Rotterdam & omstreken. Daar werkte hij mee aan de opzet en uitvoering van de duale verkorte opleiding. In die periode ontstond het plan voor het promotieonderzoek, wat startte in 1998. Vanaf 2000 werkt hij weer op het IPA, inmiddels als cursusleider van de nieuwe tweedegraadsopleiding Natuur en Techniek, en daarnaast als vakconsulent en medeauteur van de methode voor dit nieuwe vak voor de basisvorming op Aruba. Verder is hij betrokken bij het opstellen van eindtermen voor het leergebied Ciencia natural (Natuuronderwijs) in het nationaal leerplan voor het nieuwe basisonderwijs op Aruba.

Hij is te bereiken op emailadres boerbotta@setarnet.aw