

## **Chaos en Orde**

**Studium Generale reeks 9903**

# **Chaos en Orde**

*Samenstelling: Suzette Haakma en  
Etienne Lemmens*

**Uitgave: Bureau Studium Generale  
Universiteit Utrecht  
Heidelberglaan 8, 3584 CS Utrecht**

**Studium Generale reeks 9903**

Uitgave van Bureau Studium Generale van de Universiteit Utrecht,  
december 1999.

Overname van één of meer artikel(en) of gedeelte(n) daaruit is slechts  
toegestaan na verkregen toestemming van Bureau Studium Generale  
van de Universiteit van Utrecht en betreffende auteur(s).

Samenstelling: Suzette Haakma en Etienne Lemmens.

Verwerking van de artikelen en lay-out: Saskia van Huisstede en  
Käthe Grauenkamp.

Ontwerp omslag: Saskia van Huisstede.

Druk: Brouwer Uithof.

ISBN 90-72145-35-6

## Inhoudsopgave

	Pag.
Inleiding <i>E. Lemmens</i>	7
Chaos, een nieuwe visie op de werkelijkheid <i>F. Verhulst</i>	15
Voorspelbaarheid van weer en klimaat <i>J.D. Opsteegh</i>	39
Chaostheorie in de menswetenschappen: een kwestie van (methodo)logisch doordenken <i>C.J. van Dijkum</i>	47
Chaos en orde, De betekenis van organisatiekunde <i>T. Bahlmann</i>	69
Chaosanalyse van boezemfibrilleren <i>J. de Goede, B. Hoekstra en M. van der Heyden</i>	93
Stand van de synergetica en genetica <i>R.W.L. Zuidershoudt</i>	105
Personalialia	125



# Inleiding

*E. Lemmens*

Verschillende wetenschapsgebieden kunnen veel van elkaar leren. Zo af en toe steken ergens een omvattende theorie, onderzoeksthema, model of concept de kop op, die met succes toegepast kunnen worden op andere terreinen. Dan vindt er een vruchtbare kruisbestuiving plaats tussen onderzoeksgebieden die op zich weinig met elkaar gemeen hebben.

De chaostheorie is een voorbeeld van een theorie die uitnodigt tot een blik over de eigen disciplinegrenzen heen. In eerste instantie is de chaostheorie ontwikkeld binnen de exacte wetenschappen om niet-lineaire dynamische systemen te beschrijven en te analyseren. Daarna werden de concepten en modellen van de theorie in diverse zeer uiteenlopende wetenschapsterreinen gehanteerd.

Volgens het deterministische beeld, dat heerste in wetenschappelijke kringen vanaf de zeventiende eeuw, werd het universum beschouwd als een grote en uitermate regelmatige machine. Het verleden, heden en de toekomst van alle ons omringende deeltjes en lichamen liggen bepaald in mechanische wetten. Volgens de Franse wiskundige P.S. Laplace zou iemand, die alle wetten kende en ook op een bepaald moment de stand van de deeltjes en hun beweging, dan ook alles perfect tot in het oneindige kunnen achter- en voorspellen. Het feit dat niemand dat kon, werd geweten aan de gebrekkige kennis van de heersende mechanische wetten, te weinig metingen en data en de geringe kracht om dat alles goed door te rekenen.

Deze deterministische visie kwam eind negentiende eeuw onder kritiek te staan van de chaostheorie, voor het eerst verwoord door de Franse wiskundige H. Poincaré. Gedetermineerde systemen zijn moeilijk te voorspellen, ook al zou men veel van de beginsituatie en de mechanische wetten weten. Dit wordt vooral veroorzaakt door de complexiteit van vele verschijnselen. Bij systemen met drie of meer variabelen, zoals die in de ons omringende

werkelijkheid voorkomen, wordt de evolutie van het systeemgedrag grotendeels onvoorspelbaar.

Binnen de deterministische visie geldt dat, om een goede voorspelling te kunnen doen, de beginsituatie volledig bekend moet zijn. Deze premisse wordt binnen de chaostheorie afgewezen. Het is praktisch onmogelijk om op een bepaald tijdstip alles van een (open en dynamisch) systeem te weten te komen. Het is onmogelijk alles te weten te komen van een specifieke beginsituatie omdat veel systemen uiterst gevoelig zijn voor veranderingen in de beginsituatie. De kleinste afwijking in de begintoestand van twee identieke chaotische systemen, leidt tot ver van elkaar verwijderde resultaten.

Dit heeft effect voor de lineaire oorzaak-gevolg-keten. In het determinisme behoren grote oorzaken grote gevolgen te hebben, en andersom. In open en dynamische systemen kunnen kleine oorzaken daarentegen zeer grote gevolgen hebben. Het bekendste voorbeeld is de zogenoemde vlinder van Lorenz: de slag van de vleugel van een vlinder kan onder bepaalde omstandigheden een orkaan veroorzaken. In een aantal van de volgende bijdragen wordt hierop ingegaan.

Deze kritieken op het deterministische wetenschaps- en wereldbeeld werden aan het eind van de negentiende eeuw verwoord. In die tijd werd de chaostheorie door de standaardwetenschap nog een beetje lacherig afgedaan. Pas vanaf de jaren vijftig kwam, met behulp van de computer, de wiskundige rekenkracht vrij om de chaostheorie te ondersteunen. Het is ironisch te noemen dat de computer, het instrument bij uitstek dat het determinisme aan rekenkracht en data aan een eindoverwinning zou kunnen helpen, uitermate behulpzaam was in het verschaffen van munitie voor de chaostheorie. De computer biedt door simpele rekenkracht zicht op voorheen onzichtbare structuren. Simpele commandosets en algoritmen leveren uiteindelijk complexe en onvermoede resultaten. Voorbeelden daarvan zijn de zogenoemde levensprogramma's [Horgan, *The End of Science*<sup>1</sup>] en fractalen [Vroon, *Wolfsklem*<sup>2</sup>].

Chaos is in dit verband, overigens, een verkeerde betiteling. De theorie is in het geheel niet chaotisch en verklaart niet al het onregelmatige en toevallige. Alles heeft een oorzaak en kan in causale termen geanalyseerd worden. Chaotische, niet-lineaire dynamische systemen vertonen op een ander en hoger niveau van abstractie ook gedetermineerd en hoogst regelmatig gedrag. Vandaar dat men ook kan spreken van deterministische chaos [Vroon, *Wolfsklem*].

Vanuit de meteorologie drong de chaostheorie, zoals we die nu kennen, door tot andere wetenschapsgebieden, zoals de niet-lineaire thermodynamica, de wiskunde, de sociale wetenschappen en de economie. Het bijzondere is dat de chaostheorie ook aanhangers en beoefenaars kent buiten de strikt universitaire wetenschappelijke wereld. Onderzoeksinstellingen, zoals het RIVM en het KNMI, gebruiken en gebruiken nog steeds rekenmodellen die gebaseerd zijn op niet-lineaire chaotische systemen. De verspreiding van sommige ziekten kent een ongestructureerd verloop, waarin slechts na nadere inspectie en onderwerping aan niet-lineaire vergelijkingen, patronen te herkennen zijn. Ook wordt de chaostheorie door organisatieadviesbureaus toegepast op de veranderingen in het bedrijfsleven. De vergelijking wordt dan gemaakt tussen niet-lineaire dynamische systemen en de open omgeving waarin een bedrijf opereert.

Het toepassen van theorieën en concepten uit andere wetenschappen kent echter ook problematische kanten. De noties en axioma's moeten eerst worden vertaald van het ene en vertrouwde naar het andere en vreemde (wetenschaps)gebied. In deze vertaalslag bestaat het gevaar dat er wel eens een aspect of nuance verloren gaat. Dat maakt de toepassing binnen het 'nieuwe' terrein verdacht in de ogen van de originele bedenkers en toepassers.

Het gaat over het algemeen niet zozeer om de strikte toepassing van de originele modellen, maar eerder om het overnemen van algemene noties en axioma's die in de chaostheorie besloten liggen. Dat is niet heel verwonderlijk, daar de chaostheorie redelijk ingewikkelde wiskundige rekenmodellen impliceert. De algemenere noties en axioma's van de chaostheorie hebben echter een dermate grote verleiding, dat men de rekenmodellen daarachter voor lief meeneemt of ze enigszins lichtvoetig als metaforen hanteert. De originele bedenkers stellen dan ook vaak terecht de vraag in hoeverre men dan nog kan spreken van de oorspronkelijke theorie. Het moge duidelijk zijn dat wat hen betreft deze vraag zeer minimalistisch beantwoord dient te worden. Ondanks deze tegenwerping heeft in ieder geval de chaostheorie zeer grote aantrekkingskracht op wetenschapsbeoefenaars buiten de exacte wetenschappen.

Een veelgehoorde kritiek op de chaostheorie is dat de toepassingsmogelijkheden zeer beperkt zijn [Horgan, *The End of Science*]. Ondanks het feit dat de eerste formulering van de beginselen van de chaostheorie meer dan honderd jaar oud is, is de bestudering in de diverse wetenschappen relatief jong.



Pas met de verschijning in 1988 van het boek *Chaos* van de wetenschapsjournalist Gleick<sup>3)</sup>, trad de theorie uit het isolement. Dat is nu tien jaar geleden en dat is een goed moment om de implicaties van de chaostheorie voor het voetlicht te halen.

Verhulst opent de bundel met een inleiding over de pretenties van het mechanische en deterministische wereldbeeld vanaf de zeventiende eeuw. Verhulst beschrijft hoe de klassieke mechanica en diens pretenties vanaf het eind van de negentiende eeuw van verschillende kanten onder vuur werd genomen. Door de theoretische wiskunde met voorliefde voor abstractie werd de theorie van dynamische systemen en chaos verder ontwikkeld.

In de bijdrage van Opsteegh wordt de meteorologie behandeld, het terrein waarop de chaostheorie voor het eerst werd toegepast. Bij meteorologen was het optimisme aanwezig dat de computer behulpzaam zou zijn om, met meer data en gecompliceerde rekenmodellen, een betrouwbaardere weersvoorspelling te kunnen doen. De verwachting bestond dat met behulp van voldoende data en sterkere computers zelfs op de lange termijn het weer goed voorspeld zou kunnen worden. Deze hoop bleek een illusie daar de atmosfeer een open en dynamisch systeem is, waar oneindig veel variabelen hun invloed doen gelden. Kortom een systeem met niet-lineaire en chaotische eigenschappen. Opsteegh ziet meer ruimte ontstaan voor experimenteel en modelmatig onderzoek binnen de meteorologie.

Bij niet-lineaire differentiaalvergelijkingen denkt de leek niet persé aan een theorie van de sociale wetenschappen. Van Dijkum breekt in zijn bijdrage echter een lans voor het werken met modellen die daarop zijn gebaseerd. Het beeld in de standaard wetenschapsopvatting binnen de sociale wetenschappen, dat niet-lineaire modellen slechts weinig informatie en een geringe bijdrage leveren, moet volgens hem doorbroken worden. De moeilijkheid is dat veel sociale wetenschappers zich niet of nauwelijks willen verdiepen in de ingewikkelde kwantitatieve onderbouwing van de chaostheorie. Daarnaast wekt het werken met een kwalitatieve benadering, onder andere met behulp van metaforen, ook het nodige wantrouwen. Het is dan ook slechts met mondjesmaat en in aanzet dat de veelbelovende chaostheorie weerklank vindt binnen de sociale wetenschappen

In de bijdrage van Bahlmann wordt naar de relatie tussen chaos-theorie en de werkelijkheid in (bedrijfs)organisaties gekeken. In de 'traditionele' organisatiekunde heerste het beeld van organisaties als machines in een stabiele

omgeving en gaven de theorieën vooral antwoord op de vraag hoe organisaties zich dienden te gedragen. Echter, de omgeving en de organisaties zelf kunnen onvoorspelbaar veranderen en in crisis geraken. Aan de hand van voorbeelden geeft Bahlmann aan dat een organisatie in crisis een sterke gelijkenis vertoont met een situatie 'ver-uit-evenwicht', bekend uit de chaostheorie. Dat maakt de toepassing van andere elementen uit de theorie denkbaar en mogelijk. Daarbij valt vooral het begrip zelf-organisatie, in samenhang met spontane strategie en de lerende organisatie, op. Bahlmann beschrijft ook de, soms emotionele, kritiek die exacte wetenschappers konden hebben op de toepassing van de chaostheorie in de sociale wetenschappen.

De Goede verhaalt over de toepassing van de chaostheorie in de fysiologie en in het bijzonder bij hartstoornissen. Het zogenoemde boezemfibrilleren werd tot voor kort gezien als een toevalsproces. Op basis van de meer traditionele lineaire methoden kon men de data niet volledig karakteriseren. De Goede geeft aan dat, met een combinatie van traditionele lineaire en niet-lineaire rekenmethoden, werd aangetoond dat het boezemfibrilleren tot de dynamica van het hart zelf behoorde. Een probleem bij fysiologische data-reeksen is dat zij in de regel vaak kort, ruisachtig en niet-stationair zijn. Dit beperkt de toepasbaarheid van huidige methoden uit de chaostheorie. Volgens De Goede is het dan ook een uitdaging de beperkingen van bestaande methoden op te sporen en nieuwe methoden te ontwikkelen.

Tot slot vertelt Zuijderhoudt over de toepassing van de chaostheorie in de praktijk van de organisatie. Om het chaosmodel buiten de niet-lineaire thermodynamica te kunnen gebruiken, hanteert Zuijderhoudt het asymmetrisch isomorfisme. Dat wil zeggen dat hij gelijkvormigheid veronderstelt tussen aspecten in de werkelijkheid en de modelstructuur van de chaostheorie. Volgens Zuijderhoudt kunnen de begrippen chaos en zelfordening de situatie van een organisatie in crisis beschrijven. Crisissituaties zijn en blijven onvoorspelbaar, maar de organisatie kan bij het zoeken naar nieuwe oriëntaties baat hebben bij de inzichten van chaos en zelfordening. Zuijderhoudt stelt wel dat deze processen slechts matig beheersbaar zijn. Toch kunnen volgens hem spelregels opgesteld worden, die het proces van chaos en zelfordening goed kunnen ondersteunen.

De bijdragen uit verschillende hoeken van de wetenschap laten zien dat de chaostheorie voorzichtig vruchten begint af te werpen. Er zijn echter ook problemen.

Een grote handicap vormt de doorwrochte wiskundig theoretische onderbouwing van de chaostheorie. Dat bemoeilijkt of verhindert de rappe acceptatie van de premissen en axioma's van de chaostheorie buiten de exacte wetenschappen. Toch hebben een aantal aspecten van de theorie een dermate grote aantrekkingskracht dat het, vooral sociale wetenschappers, er niet van weerhoudt om leentjebuur te spelen.

De exacte wetenschappers kijken aan de andere kant met argusogen naar de pogingen om de chaostheorie in andere wetenschappen of toepassingsgebieden te introduceren. Wanneer voor de exacte wetenschappen de formele onderbouwing van deze pogingen de toetssteen blijft, zal de chaostheorie slechts een beperkte uitstraling kennen. Het is dan ook zaak het wantrouwen te temperen tegenover de pogingen de chaostheorie op kwantitatieve en kwalitatieve wijze elders te integreren.

Bovendien kan de toepassing op andere gebieden vruchtbaar zijn voor de verdere ontwikkeling van de chaostheorie. Op basis van de stand van zaken kan het gevoel ontstaan dat de ader van de vruchtbare theorievorming grotendeels is opgedroogd. Dat hoeft op zich niet verontrustend te zijn. De wetenschappers zijn gedurende de afgelopen tien jaar bezig geweest met het laten zien van resultaten. Een dergelijke situatie mag echter niet al te lang duren. De theorievorming kan verder op gang gebracht worden door een interdisciplinaire uitwisseling van kennis en resultaten. Tevens kan het nuttig zijn om ook theoretisch elders een licht op te steken. Som-migen spreken al van chaoplexiteit, waarbij chaos met complexiteit wordt verenigd [Horgan].

Het laatste probleem is dat er nog een grote kloof bestaat tussen de theorie en de praktische toepassing. Dat vergemakkelijkt niet bepaald de acceptatie van de axioma's door de standaardwetenschap. Grootschalige en interdisciplinaire onderzoeksprogramma's in het kader van chaos ontbreken voornog. Het is vooral nog een zaak van goodwill van de individuele wetenschapper om de theorie en de toepassing verder te dragen. Een multi- of interdisciplinaire bundeling van krachten lijkt dan ook zeer gewenst.

*De artikelen zijn bewerkingen van lezingen,  
gehouden op het symposium 'Chaos en Orde' in Utrecht,  
georganiseerd door het Bureau Studium Generale van de Universiteit Utrecht.*

## Literatuur

Gleick, J. *Chaos: making a new science*. Cardinal, London 1987.

Horgan, J. *The end of Science*. Helix Books/ Addison-Wesley, Mass. 1996.

Vroon, P.A. *Wolfsklem; de evolutie van het menselijk gedrag*. Ambo, Baarn 1992.



# Chaos, een nieuwe visie op de werkelijkheid

*F. Verhulst*

## Inleiding

Chaos is een verschijnsel dat al kan optreden in eenvoudig lijkende mechanische systemen zoals ons Zonnestelsel of, nog simpeler, een tweetal slingers verbonden door een veer. We bestuderen dergelijke systemen in formuleringen van de mechanica die sinds de achttiende eeuw algemeen bekend zijn. Chaos komt er dan op neer dat, hoewel de toekomstige ontwikkeling van zo'n systeem door de wetten van de mechanica volledig vastligt – we spreken wel van determinisme – we toch niet veel vat kunnen krijgen op die ontwikkeling. Dat komt omdat kleine onnauwkeurigheden in onze kennis omtrent de huidige staat van het systeem op den duur geweldig op kunnen blazen. Dit maakt dat de toekomst op de iets langere duur slecht voorspelbaar wordt. En daar gaat het determinisme ...

Nu kwam het determinisme al eerder onder vuur te liggen door allerlei ontwikkelingen in de moderne natuurkunde, vooral de quantummechanica, maar de 'chaos-aanslag' komt als het ware rechtstreeks uit de wiskunde zelf. Eén gevolg is dat het idee 'onzekere toekomst', dat we goed kennen uit het dagelijks leven of als we het over het weer hebben, nu ook gemeengoed begint te worden in het klassieke bolwerk van de wiskunde en natuurwetenschappen.

Dit is een vrij negatieve formulering die echter goed past bij de cultuurpessimistische tonen van deze tijd. Er gaat echter ook een bevrijdende werking vanuit: biologen, economen en psychologen zijn gewend aan onzekerheden en voelen zich nu wellicht minder geremd om de achterliggende wiskunde in hun modelvorming te betrekken.

De bijbehorende theorie van dynamische systemen en chaos heeft in de laatste decennia een grote vlucht genomen. Zowel door intensief gebruik van computers als door ontwikkeling van de theorie is het inzicht in het wezen van chaotische fenomenen enorm toegenomen. We zullen zien dat

'chaos' gaat over processen van beweging en verandering die een grillig en verward verloop hebben, slecht voorspelbaar zijn, maar toch bepaalde structuren vertonen.

## Het woord 'chaos'

De werkelijkheid van alledag maakt op velen een chaotische indruk. Dat geldt voor het leven van individuele mensen, dat zich afspeelt in een plotseling veranderende wereld met gebeurtenissen als ziekte en sterven, werkloosheid door opheffing van een bedrijf, scheiding en politieke omwentelingen. Die indruk bestaat vooral in die gevallen waarbij het individu geen invloed kan uitoefenen op het verloop van de gebeurtenissen en deze zich onverwacht voor lijken te doen zoals bij het weer of bij sommige economische en politieke veranderingen. Van Dales *Groot Woordenboek der Nederlandse Taal* (1992) geeft van chaos de betekenissen "staat van ongeordendheid, warboel en omvangrijke verwarde en ordeloze massa". Het is illustratief om een willekeurige krant of ander periodiek open te slaan en na te gaan hoe vaak het woord chaos of een woord als wanorde voorkomt in de beschrijving van een situatie.

De cultureel-historische wortels van het idee chaos zijn zeer oud. Zonder dat de mensen in de Oudheid erg veel inzicht hadden in de wetmatigheden achter de natuurverschijnselen, dachten ze wel degelijk na over het ontstaan van de wereld.

De Grieken, met name in de school van Plato, meenden dat er in oorsprong een chaotisch verdeelde oermaterie was. Een goede Demiurg heeft hieruit de wereld gevormd naar een aantal eeuwig blijvende vormen; deze laatste zouden dus onafhankelijk van onze werkelijkheid bestaan.

In de opvattingen van de Hindoes is chaos niet een vormloze oertoestand, maar een eenheid van orde en wanorde. In deze mythologie gaat de wereld door drie fasen: schepping, in stand houden en vernietiging met bijbehorende goden Brahma, Vishnoe en Shiva.

Deze ideeën sluiten niet aan bij de joodse en dus ook niet bij de christelijke traditie. In het Oude Testament, Genesis 1, staat 'In het begin schiep God Hemel en Aarde. Maar de Aarde was nog ongeordend en leeg ...'. In deze mythologie geeft de schepping van het zijnde het begin van de tijdrekening aan. In de eerste periode na het tijdstip nul brengt God al scheppend orde

aan en in de joods-christelijke traditie speelt chaos vervolgens geen fundamentele rol. Het woord heeft dan een statische betekenis en wordt alleen gebruikt om een zeer rommelige, verwerpelijke toestand aan te duiden.

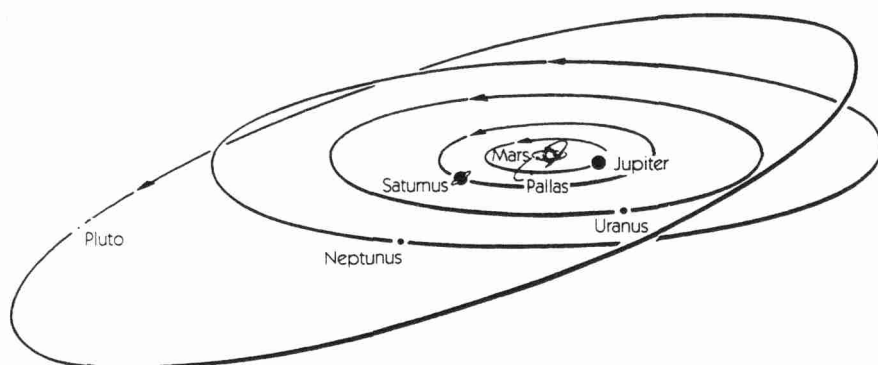
Je kunt – globaal samenvattend – zeggen dat in de mythologie, chaos steeds een structuurloos voor- of tussenstadium van de kosmos voorstelt, waarin vervolgens structuur wordt aangebracht. Scheppen is, in deze opvatting, een vorm van structureren. Misschien zou je zelfs kunnen zeggen dat chaos een noodzakelijke voorwaarde is voor het scheppingsproces. Maar ook een uitdrukking als 'mijn klerenkast is een chaos' wijst in deze zelfde richting: door op te ruimen brengen we structuur aan. Dit soort opvattingen over actief ordenen was – en is nog steeds – heel belangrijk in de westerse cultuur, hetgeen weerspiegeld wordt door een ongekende bloei op velerlei gebieden.

De wiskundige theorie van dynamische systemen en chaos houdt zich bezig met processen van beweging en verandering. De term 'chaos' is een beetje misleidend, maar is gekozen vanwege zekere overeenkomsten met wat we hierboven zagen.

Belangrijkste overeenkomst is de onhanteerbaarheid: chaotische bewegingen zijn uiterst grillig en verward en hun toekomst laat zich slecht voorspellen. Dit is iets wat we uit het dagelijks leven heel goed kennen. Om Jim Yorke, één der grondleggers van de chaostheorie te citeren: 'Je gaat maar iets te laat van huis en je mist je trein ...'. Deze vorm van chaos speelt een grote rol in de ontwikkeling van het weer en heeft alles te maken met het feit dat weersvoorspellingen er vaak zo naast zitten.

Ook hier is de betekenis van chaos niet louter negatief: het blijkt dat systemen met chaotische bewegingen vaak juist interessanter en 'vitaler' zijn dan die welke het daar zonder moeten doen. Een verschilpunt met het 'dagelijkse' begrip chaos is dat deze 'dynamische' tegenhanger niet structuurloos is. Het blijkt bijvoorbeeld dat meetkundige, waaronder fractale, structuren een essentiële rol spelen. Dynamische chaos kan dan ook niet zonder meer door structureren of herstructureren ('opruimen') worden opgeheven.





**Afbeelding 1**

Zonnestelsel met de buitenste planeten; binnen de Marsbaan bevinden zich de planeten Aarde, Venus en Mercurius. Behalve de Aarde zijn er nog vijf planeten met manen, in totaal drieëndertig. Verder zijn er grote zwermen asteroïden, kometen, meteoren en kleinere deeltjes. De asteroïde Pallas is in de afbeelding aangegeven; deze beweegt zich tussen de Mars- en de Jupiter-baan en heeft een diameter van circa 500 km.

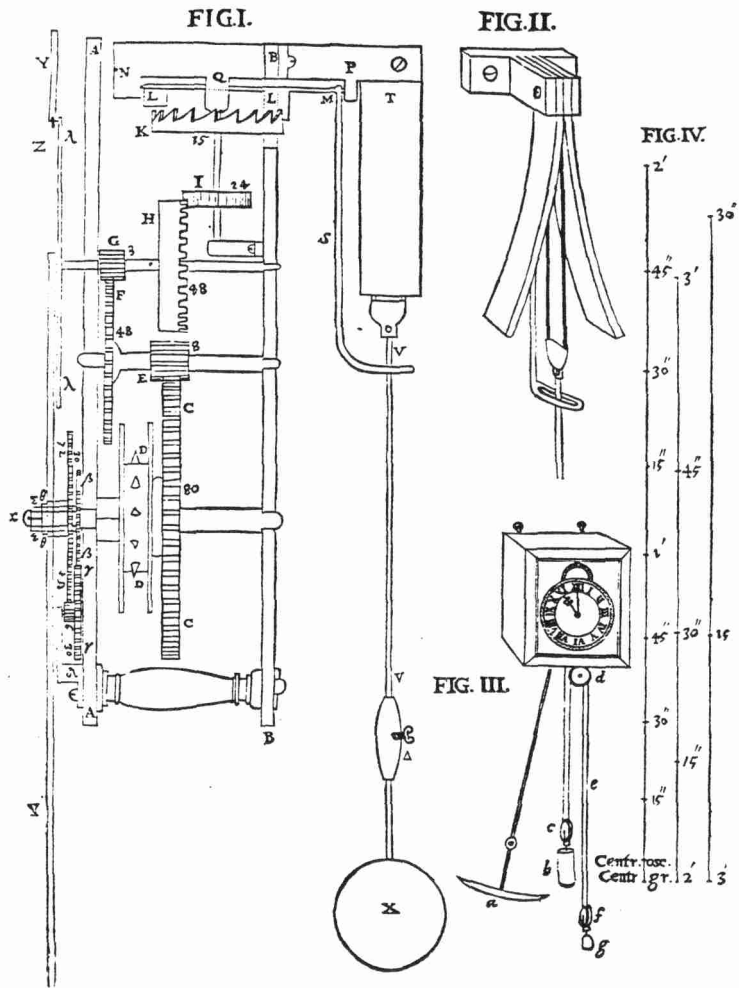
## Orde en determinisme

In de zeventiende en achttiende eeuw voltrok zich grotendeels wat wij nu aanduiden als de 'wetenschappelijke revolutie'. Belangrijke nieuwe elementen hierin zijn waarneming en experiment. Voor de middeleeuwen, die vanuit een gesloten wereldbeeld in het algemeen redeneerde volgens vooropgezette theorieën, speelden deze elementen slechts een ondergeschikte rol. Bekende geleerden die aan de wieg van deze ontwikkelingen stonden zijn Tycho Brahe, Johannes Kepler en Galileo Galilei, *afbeelding 1*.

In het midden van de zeventiende eeuw is Christiaan Huygens (1629-1695) de meest vooraanstaande onderzoeker in Europa. Hij houdt zich bezig met veel onderwerpen zoals de voortplanting van het licht, de beweging van de planeten, de theorie en constructie van het slingeruurwerk. In zijn werk gaan theoretisch inzicht, technische inventiviteit en wiskundig meesterschap hand in hand. In deze tijd vertoont de beoefening van de wetenschap voor het eerst alle moderne kenmerken: nauwkeurige waarneming van de natuurverschijnselen, theoretische verklaring met ontdekking en gebruik van wiskundige theorieën, toetsing van de theorie aan de waarnemingen waarna eventueel verbetering van de eerste verklaring volgt.

Een andere sleutelfiguur in de beginfase van de moderne wetenschap is Isaac Newton (1642-1727). Zijn beroemde werk, waarin onder meer de bewegingswetten van de hemellichamen worden afgeleid, de *Principia*, heet voluit in het Nederlands *Wiskundige Beginselen van de Natuurfilosofie*. Deze titel typeert de nieuwe kijk op de werkelijkheid waarbij in sterke mate wiskundige taal wordt gebruikt. Hierbij moet men denken aan het beschrijven van de natuurverschijnselen door het opstellen van vergelijkingen, bijvoorbeeld voor de beweging van deeltjes, of door het geraffineerd gebruik van meetkundige constructies zoals Huygens doet in zijn theorie van het licht.

De vernieuwing in deze periode is op onnavolgbare wijze beschreven door E.J. Dijksterhuis in zijn *De mechanisering van het wereldbeeld*. Een essentieel element is hier de mathematisering van de natuurwetenschappen. Vanaf ongeveer 1800 was mathematiseren dé manier om natuurwetenschappelijke theorieën te vormen. Je zou zelfs kunnen zeggen dat het in zeker opzicht identiek is geworden met 'begrijpen'. Wat hiervan ook zij, de wiskundige behandeling geeft vaak veel houvast.



Afbeelding 2

De beweging van de slinger is zo voorspelbaar, dat we deze kunnen gebruiken voor tijdmeting. Deze afbeelding is van Christiaan Huygens afkomstig en is te vinden in zijn *Horologium Oscillatorium*, over de beweging van het slingeruurwerk.

Dit geldt in het bijzonder voor een groot aantal dynamische systemen in de mechanica zoals de slinger, de veer, het Zonnestelsel, de snaar, vloeistofstromingen, enzovoorts. Zie *afbeelding 2*. Hierbij steekt dan voor het eerst het *determinisme* de kop op: uit de wiskundige theorie volgt dat bij een gegeven begintoestand de gehele toekomst vastligt. In het geval van het Zonnestelsel bijvoorbeeld wordt de begintoestand gekarakteriseerd door alle posities én snelheden ten opzichte van de Zon van de planeten, manen en andere voorkomende hemellichamen. De zwaartekrachtwet, in de vorm van wiskundige vergelijkingen gegoten, bepaalt dan verder alle posities en snelheden in de toekomst.

Het determinisme suggereert een grote hanteerbaarheid, bijna maakbaarheid, van de toekomst, die immers geheel vastligt in de wiskundige beschrijving van de werkelijkheid. Dit past heel goed in allerlei optimistische gedachten betreffende het nut van wetenschappelijke kennis voor het heil der mensheid zoals die in de Verlichting van de achttiende eeuw opkwamen.

In dit verband heeft de filosoof Immanuel Kant (1724 - 1804) tot op de dag van vandaag in sterke mate het westerse denken bepaald. Kants filosofie is krachtig beïnvloed door de boven geschetste ontwikkelingen, zowel door de inhoud daarvan als door de vorm. Dat laatste slaat onder andere op de bewijskracht en de onomstotelijkheid van Newtons wiskundige presentatie. Deze beïnvloeding speelt dan vooral in Kants kennistheorie, de theorie die beschrijft hoe de mens kennis kan hebben van de wereld. In deze kennistheorie zijn begrippen als 'ruimte', 'tijd' en 'causaliteit' fundamentele uitgangspunten, zij spelen een zogenaamde aprioristische rol.

Het succes bij de beschrijving van de beweging van de hemellichamen en vele andere problemen leidden tot, wat wel genoemd wordt, het wereldbeeld van het uurwerk. De werkelijkheid, het dynamisch systeem dat de wereld als geheel vormt, wordt voorgesteld als een zeer ingewikkeld uurwerk met erg veel radertjes. Het is allemaal voor een mens niet te overzien, maar als we maar blijven onderzoeken, dat wil zeggen alle radertjes en alle wetmatigheden gaan zoeken en vinden, brengen we de hele werkelijkheid in kaart. De geleerde Laplace (1749-1827) zegt het zó:

Een intelligente geest die op elk gegeven ogenblik al de krachten zou kennen die de natuur doen leven en de onderlinge posities van de dingen waaruit deze bestaat, als deze intelligente geest groot

genoeg zou zijn om deze gegevens aan analyse te onderwerpen, dan zou deze de beweging van de grootste lichamen en van het lichtste atoom in het heelal in een enkele formule kunnen samenvatten: voor zo een intelligentie zou niets onzeker zijn en zowel de toekomst als het verleden zou hem voor ogen staan.

De gedachte dat het mogelijk is door voortdurend verder onderzoek de werkelijkheid volledig te overzien, het optimistische wereldbeeld van Kant, Laplace en hun tijdgenoten, het beeld van het ingewikkelde uurwerk, bepaalt tot de dag van vandaag veel van onze kijk op de werkelijkheid. Dat optimisme lijkt op het eerste gezicht gerechtvaardigd. In het algemeen werken onze huishoudelijke apparaten en andere machines immers uitstekend, we kunnen met grote precisie raketten besturen en nog veel meer. Ongeveer honderd jaar geleden werd dit wereldbeeld ernstig geschokt door het werk van een geniaal wiskundige.

## **Poincaré en de prijsvraag over de stabiliteit van het Zonnestelsel**

Indien twee lichamen elkaar aantrekken volgens de zwaartekrachtwet van Newton – denk aan de Aarde en de Maan of de Zon en de Aarde – dan kunnen de dynamische vergelijkingen die de beweging beschrijven eenvoudig worden opgelost. Een beschrijving van het Zonnestelsel op basis van los van elkaar staande twee-lichamen-problemen is natuurlijk te simpel. Dat zou immers inhouden dat elke planeet alleen door de Zon wordt agetrokken, maar ze trekken elkaar natuurlijk ook onderling aan, zij het met een kleinere kracht. Dat was al in de achttiende eeuw bekend; zo kon rond 1750 de langgerekte baan van de komeet Halley om de Zon, omlooptijd ongeveer 75 jaar, alleen nauwkeurig genoeg voorspeld worden als de invloeden van Jupiter en Saturnus meegerekend werden.

De oplossing van het bewegingsprobleem van drie of meer lichamen hangt ook samen met de vraag of het Zonnestelsel stabiel is. Deze kwestie gaat terug op de eerder genoemde Laplace, die ook een tijd hofastronoom van Napoleon is geweest. In zijn *Traité de Mécanique céleste* geeft Laplace een volledig deterministische behandeling van het Zonnestelsel, gebaseerd op de wetten van Newton. Napoleon miste in dit werk referentie aan de goddelijke invloed. Zeer bekend is Laplaces krachtige antwoord toen zijn gelovige kei-

zer hem met dit gemis confronteerde: 'Sire, ik had deze hypothese niet nodig.'

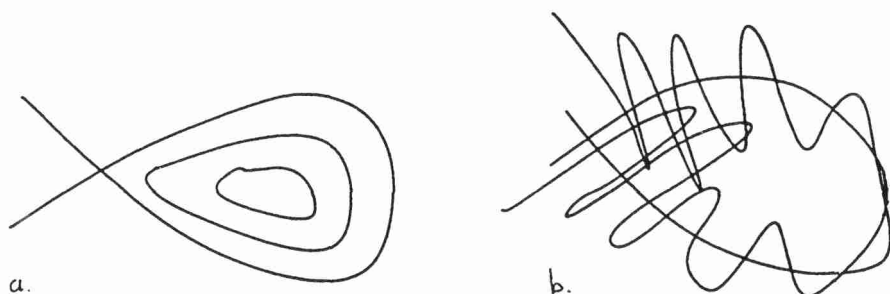
Hiermee is echter de volgende vraag geboren, namelijk of het Zonnestelsel zich wel zal blijven bewegen zoals we dat sinds millennia gewend zijn en waarbij alle gebeurtenissen zich ongeveer periodiek herhalen. Te denken valt aan Zons- en Maansverduisteringen, conjuncties van planeten, enzovoorts.

Wat zou er zoal mis kunnen gaan? Wel, het is a priori niet denkbeeldig dat sommige planeten met elkaar in botsing zouden kunnen raken, of dat ze het Zonnestelsel geheel zouden verlaten. Of bijvoorbeeld dat een Maan van de ene planeet wordt ingevangen door een andere, enzovoorts. We kunnen met berekeningen aantonen dat het onze tijd wel zal duren, maar daar gaat het hier niet om. Nee, de vraag is of deze nagenoeg periodieke dynamica het tot in alle eeuwigheid volhoudt. Dit is de grote vraag naar de stabiliteit van het Zonnestelsel; Laplace zelf gaf een eerste aanzet naar een bevestigend antwoord, maar de vraag in deze formulering van Laplace en zijn tijdgenoten is nog steeds niet bevredigend beantwoord. In de achttiende en negentiende eeuw bleek dat van het drielichamenprobleem een 'eenvoudige' algemene oplossing – zoals bij twee lichamen – al niet te vinden was, laat dus staan van het overeenkomstige probleem met meer dan drie lichamen. En dit, terwijl de belangrijkste geleerden van die tijd hieraan hun beste krachten gegeven hebben!

Deze stabiliteitsvraag heeft een stimulerende en centrale rol gespeeld in de ontwikkeling van de wiskunde tot op heden; hij is nog steeds niet beantwoord.

De wiskundige Karl Weierstrass (1815-1897) realiseert zich dat het toch wel erg merkwaardig is dat de grote vragen van het drielichamenprobleem onopgelost zijn en in 1887 verwerkt hij dit in een prijsvraag, die koning Oscar II van Zweden uitschrijft. In 1889 wordt het essay van Henri Poincaré (1854-1912) bekroond, waarbij Weierstrass aantekent dat het drielichamenprobleem in zijn algemeenheid nog steeds niet opgelost is, maar dat Poincaré resultaten 'epochemachend' mogen worden genoemd.

Poincarés antwoord betekent een breuk met de klassieke methoden, waarmee min of meer expliciete oplossingen worden geconstrueerd in de vorm van wiskundige formules. De lezer, die de wiskunde alleen van het VWO of als hulpwetenschap kent, zal de opdracht om formules te vinden vertrouwd voorkomen.



**Afbeelding 3**

a. Klassieke 'nette, gevangen' oplossingen. b. Homocliene wirwar die zich afspeelt bij een instabiliteit.

Poincaré bewees iets opmerkelijks, namelijk dat er in het drielichamenprobleem *niet voldoende behoudswetten* zoals energie en draai-impuls bestaan. Hij introduceerde hiertoe nieuwe, vooral meetkundige methoden in de wetenschap die bij dit deel van de mechanica nodig zijn. Het komt er op neer, dat bij aanwezigheid van voldoende behoudswetten, alle oplossingen als het ware gevangen zijn op allerlei oppervlakken die elkaar dwars snijden. In het drielichamenprobleem zijn er niet genoeg behoudswetten, de oplossingen kunnen niet allemaal gevangen zijn op oppervlakken en ze kunnen zich daardoor wild en grillig gedragen. De klassieke, gebruikelijke constructiemethoden falen hier dus.

Het gaat hier over hoogdimensionale problemen, maar Poincaré herleidde door allerlei reductiemethoden zijn overwegingen tot beschouwingen voor één kromme in een vlak. In dat geval vertoont deze kromme wat heden ten dage bekend staat als 'homocliene wirwar', zie *afbeelding 3*. Poincaré zelf spreekt hier beeldend van:

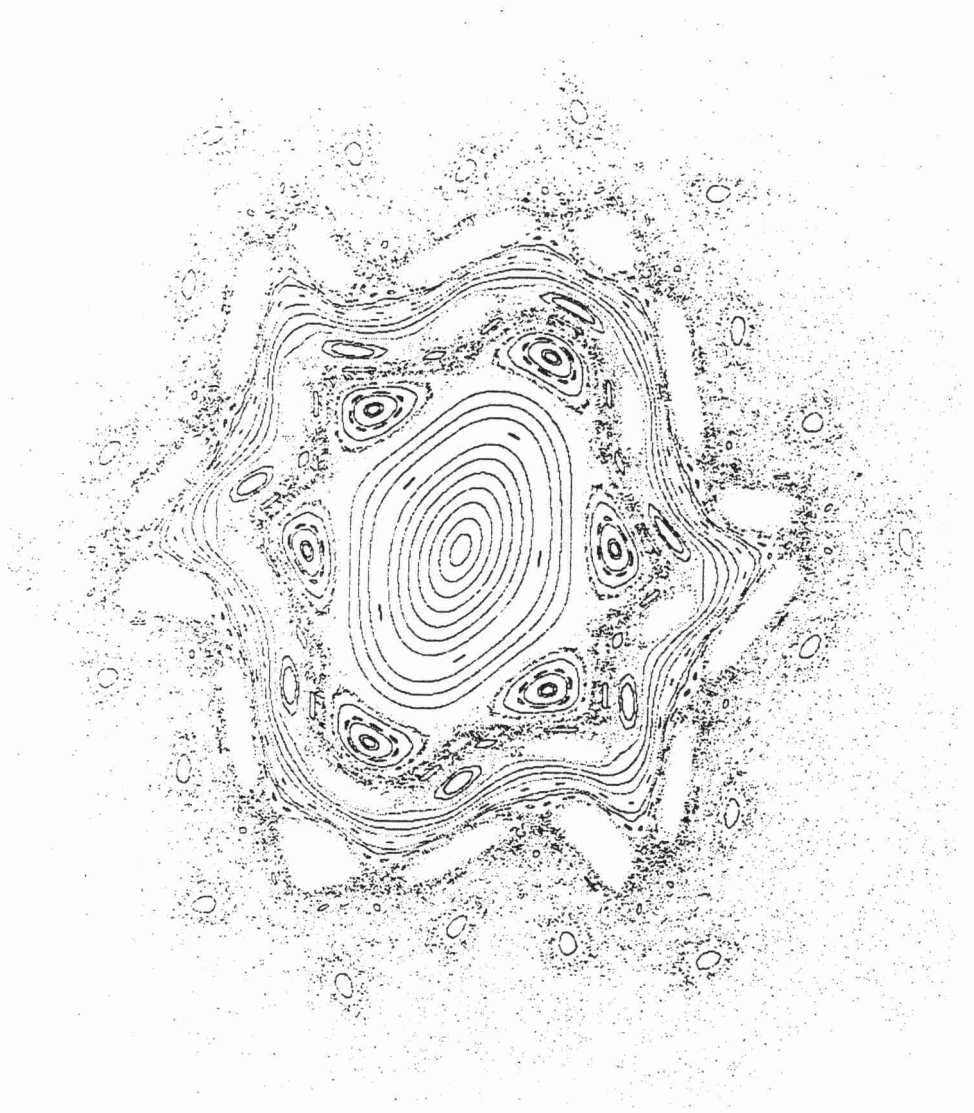
een soort traliwerk, door elkaar gevlochten weefsel, een stelsel van mazen dat oneindig dicht in elkaar gegroeid is.

De oplossingen die Poincaré schetst, zijn, in huidige termen gesproken, chaotisch met alle gevolgen van dien.

Het achttiende en negentiende-eeuwse onderzoeksprogramma voor de mechanica, dat gebaseerd is op het vinden van een voldoende aantal behoudswetten, heeft dus gefaald en dit heeft meer verstrekkende gevolgen dan de meeste tijdgenoten van Poincaré hebben beseft. In feite betekent dit alles niets minder dan een forse deuk in het optimistische wereldbeeld van Kant en Laplace. We verliezen hiermee als het ware onze vat op de wereld: in tamelijk eenvoudige deterministische systemen komen kennelijk oplossingen in de tijd voor die 'chaotisch' zijn en die zich maar bar slecht laten hanteren. Niet alleen dat de klassiek-constructieve beschrijvingen hier falen, er is sprake van structurele onvoorspelbaarheid op langere termijn.

De 'volle' waarheid in deze is pas zeer langzaam in bredere kringen van de wetenschap doorgedrongen. Tot 1960 interesseerden zich slechts een handjevol wetenschappers voor deze problemen, ze werden door velen als exotisch en pathologisch beschouwd. Een saillant voorbeeld hiervan wordt gegeven door de toonaangevende classificatie-index van de tijdschriften *Mathematical Reviews* en het *Zentralblatt für Mathematik*. In de meest recente versie, die





#### Afbeelding 4

Oppervlakte-behoudende afbeelding die hoort bij een conservatief systeem. De regelmatige krommen corresponderen met ordelijke beweging, de puntenwolken met chaos. De afbeeldingen 4, 5 en 6 zijn gemaakt door dr. Igor Hoveijn.

van 1991 dateert, lezen we nog steeds onder item 58F13: 'Strange Attractors, Chaos and other Pathologies'.

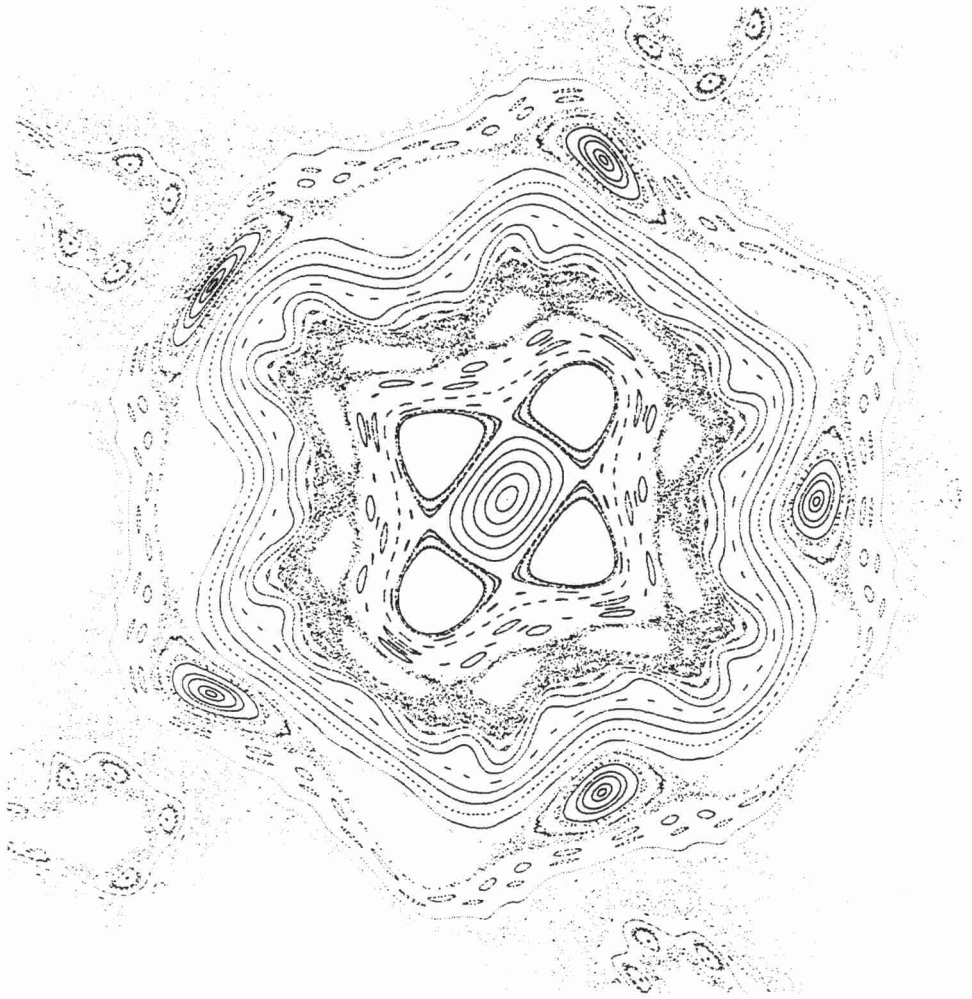
## **Conservatieve chaos**

In de toestand van chaos treedt instabiliteit op heel veel plaatsen tegelijk op. Voor bijna alle naburige beginwaarden vinden we, dat de oplossingen lokaal exponentieel hard uit elkaar weglopen. Het is moeilijk om je hier een voorstelling van te maken. Het betekent dat als je een aantal mogelijke begintoestanden hebt van een chaotisch dynamisch systeem, je bij elke keuze van begintoestand een totaal andere evolutie van het systeem krijgt. Voorspellen van de ontwikkeling is dan heel moeilijk. *Afbeelding 4.*

Hiervoor hebben we beschreven welk een belangrijke rol de studie van het Zonnestelsel heeft gespeeld. In het Zonnestelsel vindt beweging plaats van planeten en andere deeltjes in hun banen zonder dat er wrijving is, althans zo weinig wrijving dat we deze voor de meeste berekeningen kunnen verwaarlozen.

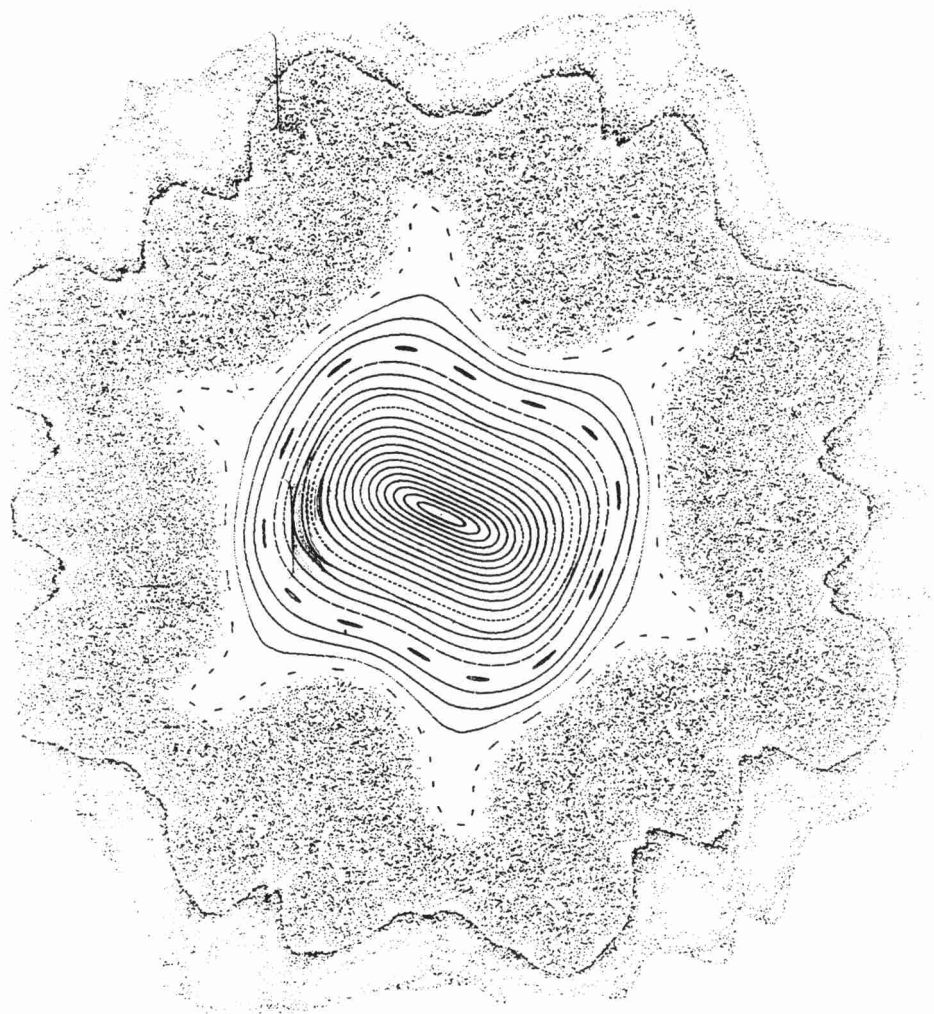
Systemen zonder wrijving worden wel conservatief genoemd, in zulke systemen wordt namelijk de aanwezige energie geconserveerd, behouden.

Eén van de belangrijkste dingen die ondertussen over conservatieve dynamische systemen bekend zijn, is dat ze bijna allemaal chaotisch zijn, dat wil zeggen in meer of mindere mate chaos bevatten. De eerste aanwijzing hiervoor kwam uit de theoretische sterrenkunde in de studie van Hénon en Heiles voor de beweging van sterren in melkwegstelsels. Zij vinden, dat als ze de deeltjes in hun banen weinig energie geven, de beweging er heel regelmatig uitziet; dat wordt weerspiegeld door de regelmatige patronen waarin het gekozen vlak wordt doorkruist. Als echter de energie iets verhoogd wordt, breken veel van de regelmatige banen, patronen in het vlak, op en bewegen de sterren daar kennelijk op een wilde chaotische manier. In 1964 worden de resultaten gepubliceerd in de *Astronomical Journal*; deze leiden eerst tot verbijstering bij sterrenkundigen en wiskundigen, maar na enige tijd begint men er iets van te begrijpen. *Afbeelding 5.*



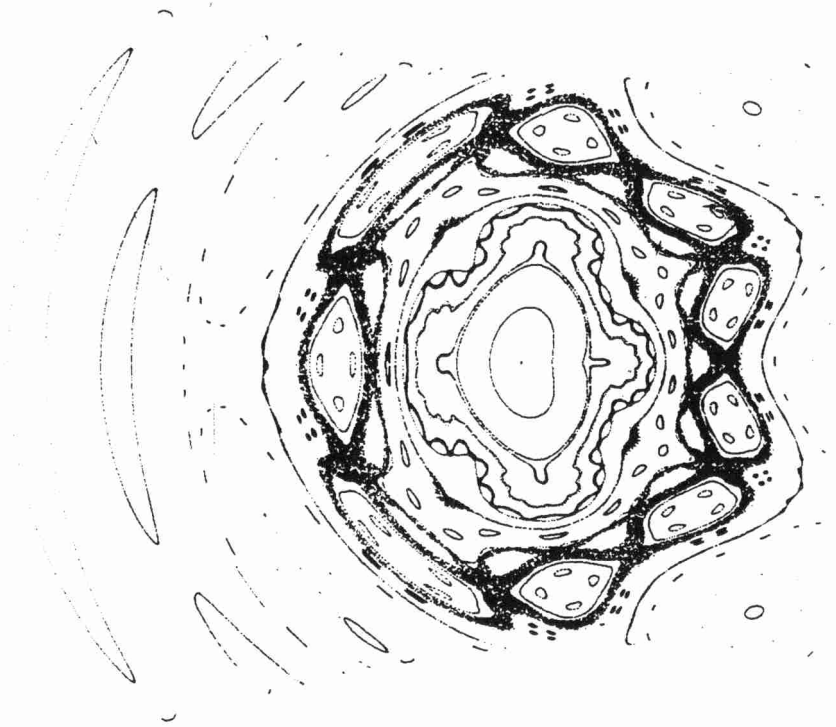
**Afbeelding 5**

Kleine wijziging van de parameter die in afbeelding 4 voorkomt.



**Afbeelding 6**

Een ander 'familied' van het conservatieve systeem uit afbeelding 4. Orde en chaos worden weer naast elkaar aangetroffen.



**Afbeelding 7**

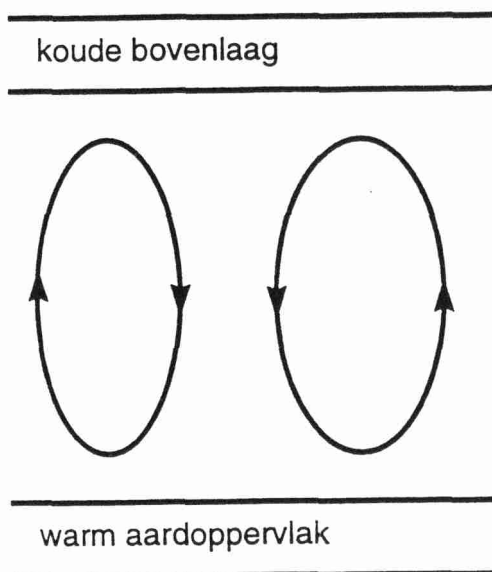
Ook deze afbeelding is van een conservatief systeem figuur afkomstig. In dit geval is deze niet 'bedacht', maar voortkomend uit het trillingsgedrag van het uiteinde van een lange boor die ronddraait in de aardkorst (onderzocht door dr. Gert van der Heijden).

Over dit trage proces van begripsvorming is nog wel iets te vermelden. Hierbij moet men zich realiseren dat de experimentele wetenschappen zoals natuurkunde, sterrenkunde, scheikunde, biologie in de loop van de twintigste eeuw een heel andere weg gingen dan de wiskunde. In de experimentele wetenschappen gingen steeds verfijnder meettechnieken hand in hand met nieuwe inzichten en theorieën. De wiskunde die hierbij nodig bleek, bestond al of werd ter plekke zo'n beetje ontwikkeld.

In de wiskunde zelf bestond eveneens een sterke ontwikkeling; deze voerde echter van de experimentele wetenschappen af en leek in de eerste helft van deze eeuw als ideaal steeds grotere abstractie te hebben. De persoonlijke contacten tussen wiskundige en experimentele wetenschappers begonnen hierdoor zelfs enigszins af te nemen. In de jaren '60 van deze eeuw bleek een deel van dit abstract wiskundige werk van fundamenteel belang te zijn voor het begrijpen van dynamische systemen en van sommige theorieën binnen de experimentele wetenschappen zoals het probleem van Hénon en Heiles. Het duurde echter even voordat de onderzoekers uit verschillende vakgebieden weer met elkaar in gesprek kwamen. Wel bleken deze nieuwe ontwikkelingen in de lucht te zitten.

Bij het begrijpen van de theorie wordt een vooraanstaande rol gespeeld door het werk van de wiskundigen Vladimir I. Arnold, Jürgen Moser en Stephen Smale. Arnold en Moser bewezen dat, hoewel in het algemeen conservatieve systemen chaotisch zijn, er toch oneindig veel regelmatige patronen overblijven in de bijbehorende oppervlakte behoudende afbeelding van het snijvlak. In het geval van Hénon en Heiles zijn dat er bij lage energie zelfs overheersend veel, bij hogere energie worden het er minder. Na enige tijd begreep men dat verband tussen de sterrenkundige berekeningen en de abstract-wiskundige stellingen. Dit opende een geheel nieuw onderzoeksgebied, waarbij het gebruik van de computer en de wiskunde elkaar aanvullen. *Afbeelding 6.*

Het soort patronen dat Hénon en Heiles vonden in hun studie van sterstelsels is typerend en deze komen we dan ook in de meest uiteenlopende gebieden tegen. Dit illustreren we aan de hand van een aantal plaatjes (afbeeldingen 4-7). *Afbeelding 7.*



**Afbeelding 8**

De bovenste luchtlagen zijn koeler en daardoor zwaarder dan de onderste. Dit veroorzaakt de Rayleigh-Taylor instabiliteit, waarbij de lucht uit de bovenste laag naar beneden zakt, daar verwarmd wordt, weer opstijgt enzovoorts.

De gebieden met puntjes vertegenwoordigen onregelmatige, chaotische banen die op die plaatsen door het snijvlak prikken. Het valt op, dat in veel gevallen er zowel regelmatige patronen zijn als chaotische gebieden, orde en voorspelbaarheid bestaan kennelijk naast chaos en onvoorspelbaarheid. Het is als een groot huis, waarin behalve netjes opgeruimde kamers ook een aantal erg rommelige plekken te vinden zijn. Het is een beetje als het leven zelf.

## **Een weerkundige verrassing**

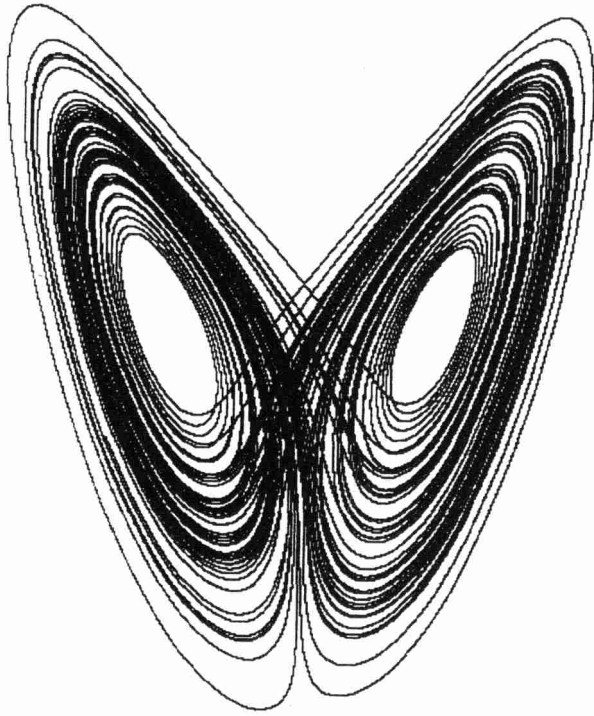
In de jaren '60 dachten de meteorologen nog dat verbetering van de weervoorspelling een kwestie was van een wat fijnmaziger meetnet over de Aarde en het bouwen van grotere computers om de voorspellingen uit te voeren. Deze opinie heeft zich bij velen tot in de jaren '80 gehandhaafd. Een fraai voorbeeld van zulk denken vinden we in het boek *Weather Prediction by Numerical Process* van Lewis Fry Richardson, in 1922 gepubliceerd. Wel had Richardson gevoel voor de omvang van de problemen, want hij beschrijft een niet-bestaande 'weerfabriek' waarin 60.000 mensen gecoördineerd met handrekenmachines zitten te werken om de ontwikkeling van het weer bij te houden (nog niet eens te voorspellen!). *Afbeelding 8.*

In 1960 voerde de meteoroloog Edward Lorenz berekeningen uit op het M.I.T. in de Verenigde Staten. Hij wilde laten zien wat er met de atmosfeer gebeurt als de Aarde door de Zon verwarmd wordt. Er ontstaan dan opstijgende luchtstromen en de koude lucht uit boven gelegen lagen zakt naar beneden, maar hoe dit precies gebeurt en hoelang zulke processen in de atmosfeer duren was onbekend. Het verschijnsel heet Rayleigh-Taylor instabiliteit.

Het wiskundig model hiervoor moet volgens de wetten van Newton deterministische voorspellingen doen in de zin zoals Laplace die had aangegeven. Het model was echter te moeilijk en te groot voor de computer die Lorenz toen ter beschikking had. Om toch een indruk te krijgen van de processen die hierbij een rol spelen, vereenvoudigde Lorenz de vergelijkingen zeer radicaal, zelfs zo zeer dat het nieuwe wiskundige model (drie kwadratische gewone differentiaal vergelijkingen) als een cartoon kan worden beschouwd van het oorspronkelijke probleem.

De resultaten van zo'n berekening over een periode van bijvoorbeeld een maand, komen in de vorm van lange rijen getallen, drie per dag. In dit geval





**Afbeelding 9**

In deze driedimensionale ruimte zijn de drie energiegrootheden van Lorenz uitgezet. De banen die de oplossingen beschrijven bewegen zich rond de vreemde attractor.

werden namelijk voor elke dag drie energiegrootheden van de atmosfeer vooruit berekend. Lorenz liet de berekeningen overnieuw doen door de waarden halverwege deze periode als startwaarden opnieuw in te tikken. Dit gaf geheel andere resultaten en de voor de hand liggende gedachte was, dat zijn computerprogramma een fout bevatte of dat de computer zelf defect was.

Het duurde even voor Lorenz ontdekte dat dit niet het geval was. De oorzaak was deze. De computer voerde zijn berekeningen uit in zes decimalen nauwkeurig. Bij het opnieuw intikken werden slechts drie decimalen gebruikt en dit kleine verschil in startwaarden leidde tot de ontwikkeling van een heel ander weertype.

Het bleek dat Lorenz' modelvergelijkingen een typerend voorbeeld zijn van gevoelige afhankelijkheid van beginwaarden. Als we de drie energiegrootheden van Lorenz in de ruimte uitzetten en volgen in de tijd, dan blijken de oplossingen in de figuur onregelmatig afwisselend links en rechts rond twee stromingstoestanden te draaien. Als we een iets andere startwaarde nemen, ontstaat een dergelijk plaatje, maar het ronddraaien gebeurt in heel andere onregelmatige volgordes.

De verzameling waar omheen gedraaid wordt en die de twee stromingstoestanden bevat, heeft attractie voor de oplossingen, de oplossingen gaan er naar toe, maar er is niet een rustige eindtoestand waarin het systeem zich vestigt. We noemen de verzameling een *vreemde attractor*. In het algemeen heeft zo'n verzameling een fractaal karakter; in het geval van het probleem van Lorenz is de dimensie 2.4, de attractor is dus iets dikker dan een vlak.

Lorenz realiseerde zich dat hiermee voorspelling van het weer op lange termijn wezenlijk onmogelijk is. Dit kan geïllustreerd worden met wat hij het vlindereffect noemt: als een vlinder in Brazilië zijn vleugels uitslaat, kan er in Texas een orkaan ontstaan. Een belangrijk gevolg is dat er grenzen zijn aan het bereik van de weervoorspelling. Bij het construeren van steeds grotere computerprogramma's voor een betere beschrijving van het weer, wordt vanaf een zeker punt de voorspelling slechter; het programma gaat steeds meer op het echte weer lijken en alle instabiliteiten van dien vertonen.

## Literatuur

Veel van het materiaal dat in dit artikel is bijeen gebracht, is te vinden in het boek van H.W. Broer, J. van de Craats en F. Verhulst, *Het einde van de voorspelbaarheid? Chaostheorie, ideeën en toepassingen*, Aramith/Epsilon Uitgaven, 1995. In de laatste twee paragrafen behandelden we enkele vormen van chaos, er zijn er veel meer. Andere populair-wetenschappelijke en inleidende teksten staan hierna vermeld.

### Populair-wetenschappelijke literatuur Dynamische Systemen en Chaos

Broer, H.W., J. van de Craats en F. Verhulst. *Het einde van de voorspelbaarheid? Chaostheorie, ideeën toepassingen*. Aramith/Epsilon Uitgaven, 1995.

Field, M., M. Golubitsky. *Symmetry in Chaos*. Oxford University Press, 1992.

Gleick, J. *Chaos, Making a New Science*. Penguin Books, 1988.

Hall, N. (red.) *The New Scientist Guide to Chaos*. Penguin Books, 1991.

Lauwerier, H. *Fractals*. Aramith Uitgevers, 1987, geheel herziene uitgave 1992.

Mandelbrot, B.B. *Fractals, Form, Chance, and Dimension*. Freeman & Co, San Francisco, 1977.

Peitgen, H.O., P.H. Richter. *The Beauty of Fractals*. Springer-Verlag, Heidelberg 1986.

Prigogine, I., I. Stenger. *Orde uit Chaos*. Uitgeverij Bert Bakker, 1990.

Ruelle, D. *De Wetten van Toeval en Chaos*. Aramith Uitgevers, Bloemendaal 1993.

Stewart, I. *Does God Play Dice?* Penguin Books, 1989 (Ned. vert. verkrijgbaar).

Tennekes, H. (red.) *De vlinder van Lorenz*. Aramith Uitgevers, Bloemendaal 1990.

Tennekes, H. *Dan leef ik liever in onzekerheid*. Aramith Uitgevers, Bloemendaal 1990.

### **Inleidende studieteksten**

Broer, H.W., F. Verhulst (red.) *Dynamische Systemen en Chaos, een revolutie vanuit de wiskunde*. Epsilon Uitgaven, Utrecht 1992.

Devaney, R.L. *An Introduction to Chaotic Dynamical Systems*. Addison-Wesley, Redwood City 1989.

Dijkum, D. van, D. de Tombe (red.) *Gamma Chaos, onzekerheid en orde in de menswetenschappen*. Aramith Uitgevers, Bloemendaal 1992.

Ebeling, W., H. Engel en H. Herzel. In *Selbstorganisation in der Zeit*. Akademie-Verlag Berlin 1990.

Guckenheimer, J., P. Holmes. *Nonlinear Oscillations, Dynamical Systems, and Bifurcations of Vector Fields*. Springer-Verlag, New York 1983.

Gutzwiller, M.C. *Chaos in Classical and Quantum Mechanics*. Springer-Verlag, New York etc. 1991.

Hommel, C.H. *Chaotic Dynamics in Economic Models, Some Simple Case-studies*. Wolters-Noordhoff, Groningen, proefschrift Groningen 1991.

Laplace, P.S. *Théorie analytique des probabilités*. 3ème éd., p.VI (Introduction). Paris 1820.

Lichtenberg, A.J., M.A. Lieberman. *Regular and Chaotic Dynamics*. 2d ed. Springer-Verlag, New York 1992.

Moon, F.C. *Chaotic Vibrations*. John Wiley, New York 1987.

Peitgen, H.-O., H. Jürgens, D. Saupe. *Chaos and Fractals, New Frontiers of Science*. Springer-Verlag, 1993.

Planck, M. 'Der Kausalbegriff in der Physik' (1948). In *Wissenschaftliche Selbstbiografie*. Barth, Leipzig (1955).

Poincaré, H. *Méthodes Nouvelles de la Mécanique Céleste*. 3 delen. Gauthier-Villars, Paris 1899.

Rasband, S.N. *Chaotic Dynamics of Nonlinear Systems*. John Wiley, New York 1990.

*F. Verhulst*

Ruelle, D. en F. Takens. *On the Nature of Turbulence, Communications in Mathematical Physics*. 1971. Vol. 20, p. 167.

Schuster, H.G. *Deterministic Chaos*. VCH Publishers, Weinheim/New York 1988.

Thompson, J.M.T., H.B. Stewart. *Nonlinear Dynamics and Chaos*. John Wiley, 1986.

Verhulst, F. *Nonlinear Differential Equations and Dynamical Systems*. 2d revised ed. Springer-Verlag, Heidelberg 1996.

# Voorspelbaarheid van weer en klimaat

*J.D. Opsteegh*

## Voorspelbaarheid van het weer

Toen ik in 1971 bij het KNMI kwam, was de meteorologie zich razendsnel aan het ontwikkelen. De aanzet hiertoe werd in 1950 gegeven door Charney, Von Neuman en collega's met de publicatie van de resultaten van de eerste numerieke weersverwachting, geproduceerd met behulp van de ENIAC, de door Von Neuman ontwikkelde computer. Het rekenmodel waarmee zij een weersverwachting voor twee dagen vooruit produceerden, was een zogenaamde barotroop model, een eenvoudig model dat de atmosferische circulatie beschrijft in termen van behoud van vorticititeit. Zij gebruikten voor hun berekeningen vele uren rekentijd op de ENIAC. Tegenwoordig kost zo'n berekening enkele seconden op een doorgewone PC. Het succes van deze onderneming deed de meteorologische wereld op zijn grondvesten schudden en was de aanzet tot een ontwikkeling die steeds meer in een stroomversnelling geraakte. Met iedere nieuwe generatie computers werden ook de rekenmodellen complexer en beschreven op steeds realistischer wijze de groot-schalige aspecten van de atmosferische circulatie. Stabiele numerieke schema's werden ontwikkeld en realistische para-meterisaties van sub-grid-schaal processen, ontwikkeld op basis van meetcampagnes, kwamen beschikbaar.

In 1971 was het optimisme dat deze ontwikkeling op den duur nauwkeurige verwachtingen tot misschien wel een maand of een seizoen vooruit mogelijk zou maken nog steeds heel groot, ondanks het feit dat Lorenz al in de zestiger jaren in een aantal artikelen, zowel theoretisch als empirisch, had aangetoond dat de atmosferische voorspelbaarheid fundamenteel beperkt is. De reden hiervan is dat de atmosfeer zeer gevoelig reageert op kleine veranderingen. Als we een kleine fout maken in de bepaling van de toestand van de atmosferische circulatie aan het begin van de modelberekeningen, dan zal die fout gedurende de berekeningen groeien en uiteindelijk alle nuttige

modelinformatie over toekomstige veranderingen in de atmosfeer vernietigen. Het maakt hierbij niet uit hoe klein die initiële fout is. De bepaling van de begintoestand is gebaseerd op metingen, die gelijktijdig over de hele wereld worden gedaan. Metingen, hoe nauwkeurig ook verricht, bevatten altijd kleine fouten. Deze fouten komen terecht in de begintoestand en leiden zo tot een maximaal haalbare voorspeltermijn. Lorenz schatte deze voorspelhorizon op ongeveer twee weken. Het optimisme van de zeventiger jaren leidde in 1975 tot de oprichting van het ECMWF (European Centre for Medium Range Weather Forecasts), een instituut waarin een aantal Europese landen samenwerken om weersverwachtingen te produceren voor ongeveer twee weken vooruit. Het ECMWF werd gevestigd in Engeland en is momenteel een toonbeeld van wat met eendrachtige samenwerking op Europees niveau kan worden bereikt (zie *afbeelding 1*).

Hoewel de oorspronkelijke doelstelling van het Centrum, om nauwkeurige weersverwachtingen uit te geven tot tien dagen vooruit, nog steeds niet is bereikt, heeft de ontwikkeling binnen het Centrum van een reusachtig rekenmodel voor de atmosferische circulatie geweldig inspirerend gewerkt op de hele meteorologische gemeenschap. Van over de hele wereld komen nu al vele jaren toonaangevende wetenschappers naar het Centrum om er te werken en zo hun bijdrage te leveren aan het verder ontrafelen van de geheimen van de atmosferische circulatie. Ook Nederlandse wetenschappers leveren hieraan hun bijdrage. De huidige generatie mondiale computermodellen beschrijft de atmosfeer met zesentwintig concentrische bolschillen. Op ieder van die schillen ligt een rooster. De punten van het rooster liggen op regelmatige afstanden van elkaar en maken een horizontaal oplossend vermogen mogelijk van enkele tientallen kilometers.

Hoewel het Centrum in wetenschappelijk opzicht een groot succes mag worden genoemd en men er over het beste rekenmodel ter wereld beschikt, brak aan het eind van de jaren tachtig toch het besef door van het belang van Lorenz werk aan de atmosferische voorspelbaarheid. Op het Centrum heeft dit geresulteerd in de operationalisering van zogenaamde Monte Carlo verwachtingen. Voor steeds dezelfde periode worden met het rekenmodel ongeveer vijftig verwachtingen gemaakt, waarbij telkens in de beginconditie een hele kleine verandering wordt aangebracht. Deze verandering representeert de eindige nauwkeurigheid waarmee kan worden gemeten, dus waarmee de atmosferische circulatie op een bepaald moment kan worden vastge-

legd. De mate waarin deze verwachtingen zich van elkaar verwijderen is een goede maat voor de nauwkeurigheid waarmee veranderingen in de atmosferische circulatie kunnen worden voorspeld (zie *afbeelding 2*).

Als alle verwachtingen dezelfde veranderingen geven, hebben we een redelijke mate van zekerheid dat deze veranderingen zich ook zullen voordoen. Na enige tijd zullen de verschillende verwachtingen zich van elkaar verwijderen. Dan kunnen alleen kansuitspraken worden gedaan, die naarmate de verwachtingstermijn langer wordt, steeds minder informatie bevatten, tot het klimatologische kansniveau wordt bereikt (dit zijn de kansen die kunnen worden afgeleid uit wat in het verleden is gebeurd en zijn in het algemeen gebaseerd op informatie over een periode van dertig jaar). Hierna is het zinloos om de verwachting verder voort te zetten. De toenmalige onderzoeksdirecteur van het KNMI, Prof. Tennekes, heeft een belangrijke rol gespeeld om het voorspelbaarheidsonderzoek in het onderzoeksprogramma van het Centrum opgenomen te krijgen. Ook heeft hij op het KNMI een aparte afdeling opgericht die zich exclusief met voorspelbaarheid van weer en klimaat moest gaan bezig houden. Deze afdeling werkt momenteel nauw samen met het ECMWF in het voorspelbaarheidsonderzoek. Dit onderzoek zal hopelijk in de naaste toekomst leiden tot het uitgeven door het KNMI van kansverwachtingen voor de diverse weerselementen, zoals temperatuur, neerslag, zonneschijn et cetera.

## **Voorspelbaarheid van het klimaat**

In de zeventiger jaren begonnen meteorologen en atmosferisch chemici zich ongerust te maken over de mogelijke invloed die de gemeten toename van atmosferische broeikasgassen zou kunnen hebben op het klimaatsysteem. Met eenvoudige zogenaamde stralingsconvectieve modellen werd berekend dat een verdubbeling van het CO<sub>2</sub> gehalte gemakkelijk tot een mondiaal gemiddelde temperatuurstijging van twee tot vier graden zou kunnen leiden, die op hoge geografische breedte nog veel hoger zou kunnen zijn. De mogelijkheid dat menselijke activiteit een klimaatverandering tot gevolg kan hebben, die zich op een relatief korte termijn van enkele tientallen jaren kan manifesteren, heeft het onderzoek aan de vele aspecten van het klimaatsysteem sterk gestimuleerd. Ook de zeer sterke El-Niño die zich in de jaren 1982/83 voordeed en wereldwijd voor tijdelijke maar dramatische klimaatschomme-



### ECMWF FORECAST VERIFICATION 12Z

1000hPa GEOPOTENTIAL

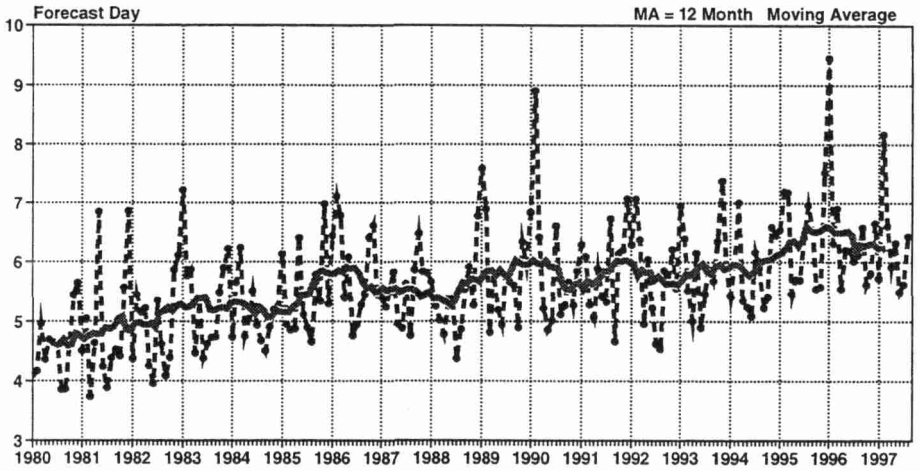
ANOMALY CORRELATION

FORECAST

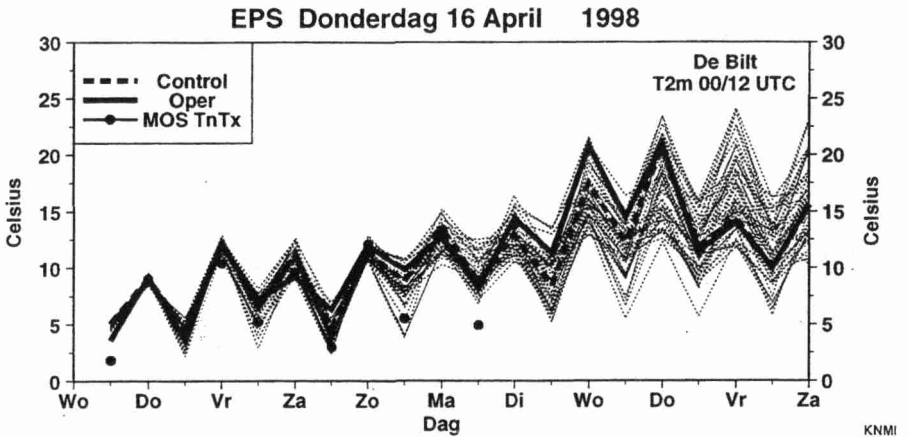
EUROPE LAT 35.000 TO 75.000 LON -12.500 TO 42.500

--- SCORE REACHES 60.00

— SCORE REACHES 60.00 MA



Afbeelding 1



Afbeelding 2

lingen verantwoordelijk was, heeft aan die toegenomen belangstelling sterk bijgedragen.

Klimaatvoorspellingen komen tot stand met behulp van klimaatmodellen. Dit zijn computermodellen die sterk lijken op de modellen die ook worden gebruikt voor de weersverwachting. Een klimaatvoorspelling bestrijkt in het algemeen een periode van 10 tot 100 jaar. Hoe is het mogelijk met deze modellen een klimaatverwachting te maken voor een periode van minimaal tien jaar, als weersverwachtingen voor een periode van twee weken niet eens mogelijk zijn. Het antwoord is betrekkelijk simpel. Een klimaatvoorspelling is een voorspelling voor de waarschijnlijkheidsverdeling van klimaatvariabelen. Uit deze verdeling kunnen de gemiddelden en de varianties van de klimaatvariabelen worden bepaald. We willen dus een uitspraak kunnen doen over bijvoorbeeld de gemiddelde wintertemperatuur in ons klimaat, of over de frequentie van stormdepressies et cetera. Als de klimaatmodellen nauwkeurig genoeg zijn, kan die waarschijnlijkheidsverdeling, middels een zeer lange klimaatsimulatie met het model worden gereproduceerd. Dat betekent niet dat we alle hoge en lage drukgebieden, zoals die zich in de loop van de tijd in werkelijkheid voordoen op de juiste tijd en plaats zullen voorspellen, maar wel dat het klimaatmodel dezelfde statistische eigenschappen produceert als in werkelijkheid, dat wil zeggen gemiddeld hetzelfde aantal hoge en lage drukgebieden met dezelfde intensiteit, die gemiddeld dezelfde baan over de aarde volgen. Als we de atmosfeer opvatten als een dynamisch systeem met zogenaamde chaotische eigenschappen, kunnen we zeggen dat de aantrekker gereproduceerd kan worden, maar niet een concrete baan op die aantrekker.

In principe hoeft de voorspelbaarheid van het klimaatsysteem dus niet beperkt te zijn, zoals dat het geval is bij de voorspelbaarheid van het weer. Echter bij klimaatvoorspellingen lopen we wellicht tegen andere beperkingen aan. Klimaatmodellen zijn vereenvoudigde voorstellingen van het echte klimaatsysteem. Ze berusten weliswaar op de bekende natuurkundige wetmatigheden, maar er moeten toch allerlei vereenvoudigingen en onzekere aannamen worden gemaakt. De vraag is hoe gevoelig de resultaten van klimaatmodellen afhangen van (hopelijk steeds kleinere) modelfouten. De ontwikkeling van een perfect klimaatmodel zonder enige beperking ligt buiten de menselijke maat en daarmee wordt deze vraag dus relevant. De relevantie ervan wordt nog duidelijker als we ons realiseren dat het klimaatsysteem een open systeem is. Er kan niets worden buitengesloten. Noodzakelijkerwijs zijn de klimaatmodellen gesloten systemen. Momenteel bestaan ze

uit een atmosfeer en een oceaancomponent. Alle andere componenten van het klimaatsysteem worden nog verwaarloosd of op tamelijk arbitraire wijze voorgeschreven. Zo worden experimenten met klimaatmodellen gedaan, waarin aannamen omtrent de toename van CO<sub>2</sub> worden doorgerekend. Deze aannamen zijn echter willekeurig en doorgaans gebaseerd op extrapolatie van gemeten groei in het verleden. Ze houden dus niet echt rekening met het feit dat ook de CO<sub>2</sub> hoeveelheid in de atmosfeer een klimaatvariabele is en op onverwachte wijze kan afhangen van reacties in bijvoorbeeld de biosfeer. Ook de voor het klimaatprobleem relevante dynamica van de wereldeconomie en de sociologie blijft in wezen buiten beschouwing en dat is ook begrijpelijk want als de historie een ding heeft duidelijk gemaakt, is dat de onvoorspelbaarheid van het menselijk gedrag.

Tot nu toe is nog niet veel onderzoek gedaan naar de voorspelbaarheid van klimaatveranderingen. Wel zijn vele klimaatsimulaties gedaan, waarbij een of meerdere CO<sub>2</sub> scenario's zijn doorgerekend. In het recent verschenen tweede assessment rapport van het IPCC (International Panel on Climate Change), een onder de auspiciën van de VN opererend wetenschappelijke panel, dat mede is opgericht om politieke besluitvorming te onderbouwen, wordt een overzicht gegeven van simulaties die met een tiental verschillende modellen zijn gedaan. De wijze waarop de resultaten van gelijksoortige experimenten met verschillende modellen overeenkomen of divergeren, geeft enig houvast bij de inschatting van de voorspelbare en onvoorspelbare componenten van het klimaatsysteem. De wijze waarop in alle modellen de mondiaal gemiddelde temperatuur stijgt bij een vast gekozen scenario van CO<sub>2</sub> toename in de tijd is voor alle modellen ongeveer hetzelfde en komt nog steeds heel goed overeen met de resultaten van de allereerste experimenten die met stralingsconvectieve modellen zijn gedaan ongeveer vijfentwintig jaar geleden. Het lijkt er op dat de mondiaal gemiddelde temperatuur voornamelijk wordt bepaald door de mondiaal gemiddelde stralingsbalans en dat de chaotische dynamica van de atmosfeer daar niet heel veel invloed op heeft. Over de regionale effecten van CO<sub>2</sub> toename zijn de modellen het volledig oneens. Dit geldt voor temperatuurverandering, maar meer nog voor de wellicht veel relevantere verandering in de neerslagverdeling op aarde. Het blijkt dat regionale klimaten vooral worden bepaald door de atmosferische circulatie, dus door de wijze waarop de koude en warme luchtstromingen zich over de aarde bewegen. Deze luchtstromingen vinden plaats in voorkeurspatronen, zogenaamde weerregimes. Recent onderzoek

heeft aannemelijk gemaakt dat regionale klimaatveranderingen zich waarschijnlijk vooral zullen manifesteren als veranderingen in de frequentieverdeling van deze weerregimes. Deze veranderingen kunnen zeer subtiel afhangen van de veranderingen die in het klimaatsysteem worden aangebracht, zoals de toename van broeikasgassen. De simulatie van een correcte frequentieverdeling van weerregimes hangt echter ook gevoelig af van kleine modelfouten. Klimaatmodellen lijken sterk op elkaar, maar zijn toch in de details van elkaar verschillend. Het is dan ook niet zo verbazend dat de door die modellen gesimuleerde regionale klimaatveranderingen zo sterk van elkaar afwijken. Dit zou een eerste indicatie kunnen zijn van een zeer geringe regionale voorspelbaarheid van het klimaatsysteem. Niettemin zijn de regionale veranderingen toch het meest interessant, omdat ze waarschijnlijk een orde van grootte sterker zijn dan de mondiale veranderingen.

Een andere complicerende factor bij de bepaling van klimaatveranderingen is de natuurlijke variabiliteit van het klimaatsysteem of de klimaatruis. Het klimaat varieert ook zonder dat de mens in het systeem veranderingen veroorzaakt. De meest bekende en waarschijnlijk enigszins voorspelbare klimaatfluctuatie is het hierboven al genoemde El-Niño verschijnsel. El-Niño treedt onregelmatig, maar gemiddeld ongeveer een keer in de vier jaar op. Het verschijnsel dankt zijn bestaan aan een instabiele atmosfeer-oceaan wisselwerking in het tropische deel van de Stille Oceaan. In de oceaan beperkt het zich tot de tropen, maar in de atmosfeer zijn de gevolgen van El-Niño over de hele wereld meetbaar en de ermee gepaard gaande weersverschijnselen in de tropen en Noord-Amerika zijn doorgaans voor perioden van meer dan een jaar tamelijk extreem. El-Niño heeft zich ook in 1997 voorgedaan en dit was wellicht de sterkste ooit gemeten. Iedereen kent de gevolgen die dit voor het weer in grote delen van de wereld heeft gehad. Voor perioden van een half jaar vooruit is de ontwikkeling van deze El-Niño nauwkeurig voorspeld door het ECMWF, met behulp van een gekoppeld atmosfeer/oceaan klimaatmodel. Dit geeft aanleiding tot enig optimisme, hoewel El-Niño's die zich in het recente verleden hebben voorgedaan, zich minder gemakkelijk lieten voorspellen.

Natuurlijke variabiliteit van het klimaat vinden we niet alleen op tijdschalen van enkele jaren, maar op alle tijdschalen, van een jaar tot miljoenen jaren. Om klimaatveranderingen die het gevolg zijn van de CO<sub>2</sub> toename te kunnen onderscheiden van de natuurlijke klimaatruis is het van belang dat we inzicht krijgen in de natuurlijke variaties die zich op tijdschalen van tien tot honderd jaar kunnen voordoen. Immers verwacht wordt dat het effect van

de toename van broeikasgassen op het klimaatsysteem zich op deze tijdschaal duidelijk zal manifesteren. De urgentie hiervan wordt door de WMO (Wereld Meteorologische Organisatie) erkend. Het onderzoeksprogramma CLIVAR werd opgestart met als doel, de bepaling van de natuurlijke klimaatvariabiliteit op tijdschalen tot honderd jaar. NWO heeft recent besloten om de Nederlandse deelname aan CLIVAR financieel te steunen. Recent onderzoek onder andere op het KNMI heeft aangetoond dat een significant deel van de natuurlijke variabiliteit van het klimaat van West Europa is geassocieerd met persistente variaties in het zogenaamde NAO (Noord Atlantische Oscillatie) weerregime. Deze persistente anomalieën in het NAO circulatiepatroon veroorzaken anomalieën in de temperatuur van de noordelijke Atlantische Oceaan. De anomalieën in de oceaantemperatuur kunnen zich meer dan tien jaar handhaven en hebben de neiging om het anomale NAO patroon dat ze heeft veroorzaakt enigszins te versterken. Als de anomalieën in de oceaantemperatuur eenmaal zijn aangeslagen door de atmosferische circulatie zou dit voor de komende tien jaar enige voorspellende waarde kunnen hebben voor het gemiddelde weer in West-Europa. Kwantificering hiervan voor het element neerslag toont dit ook aan, maar het voorspelbare deel van de neerslagvariaties is klein ten opzichte van de variaties die voortkomen uit de chaotische eigenschappen van de atmosferische circulatie.

In de klimatologie is men begonnen voorspellingen van klimaatveranderingen te doen, nog voor er enig inzicht was in de voorspelbaarheidseigenschappen van het klimaatsysteem. In dit opzicht is er een sterke parallel met de geschiedenis van de numerieke weersverwachtingen. Meer en meer wordt men zich echter bewust van het belang van experimenteel en modelmatig onderzoek dat is gericht op het vergroten van inzicht in de voorspelbaarheidseigenschappen. De komende tien jaar zal het voorspelbaarheidsonderzoek interessante resultaten te zien geven. Aan de Klimaatcommissie van de KNAW de taak om deze ontwikkelingen op de voet te volgen.

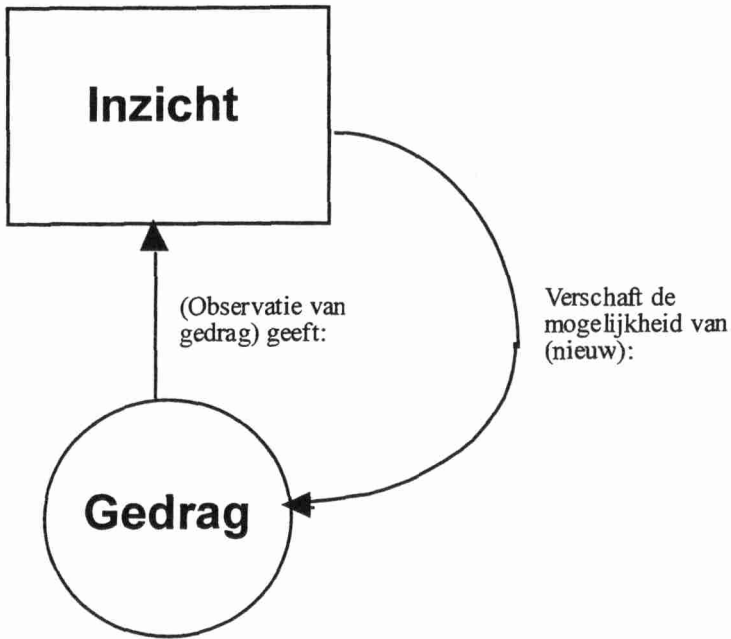
# **Chaostheorie in de menswetenschappen: een kwestie van (methodo)logisch doordenken**

*C.J. van Dijkum*

Naast de natuurwetenschappen worden er in onze samenleving de menswetenschappen beoefend. Wie aan menswetenschappers de vraag stelt wat het doel is van hun onderzoek, zal nogal wat verschillende antwoorden krijgen. In grote lijnen zal echter naar voren komen dat het er om gaat mensen beter te begrijpen. Dat is op zich al fascinerend, maar er zal daarnaast worden betoogd dat het verkregen inzicht ook het leven van mensen prettiger maakt. Immers daarmee kan soms ellende die mensen overkomt in hun leven worden verlicht, of zelfs voorkomen. Zo zal een medicus inzicht proberen te krijgen in het ontstaan van ziekten en de mogelijkheid sommigen daarvan te genezen of te voorkomen. Een econoom zal er op wijzen dat zijn onderzoek inzicht verschaft in handelstransacties van mensen en de mogelijkheid sommige rampen die hen daarbij overkomen te bestrijden en soms zelfs te voorkomen. Een psycholoog die inzicht probeert te krijgen in het gedrag van mensen zal er op wijzen dat het daarmee soms mogelijk is de ellende die mensen zichzelf en anderen aandoen ook door henzelf te laten bestrijden en soms te voorkomen.

## **De empirische cyclus**

Centraal in deze visies op wetenschap staat het idee, net zoals in de natuurwetenschappen, dat inzicht in het functioneren van de wereld de speelruimte om met die wereld om te gaan verruimt. Voor mensen gaat het daarbij om hun gedrag en de beperkingen daarvan. Schematisch wordt deze wisselwerking tussen gedrag en inzicht afgebeeld in *afbeelding 1*.



Afbeelding 1 De wisselwerking tussen gedrag en inzicht.

In gedrag kan men door observatie inzicht verkrijgen. Dat verschaft de mogelijkheid nieuw gedrag te vertonen c.q. gedrag te veranderen, waarin men vervolgens weer inzicht kan proberen te krijgen en zo ontstaat er een cyclus tussen gedrag en inzicht. Gedrag wordt zo ook tot intentioneel gedrag. Dat idee vindt men in allerlei variaties terug in de literatuur. Men kan het bijvoorbeeld zien bij gedragstheorieën van neo-behavioristen als Tolman (1932,1966) en Hull (1951). Door vergelijking van intenties en (observatie van) het daadwerkelijk gedrag kunnen mensen volgens hen leren. Een dergelijke cyclus is empirisch te noemen omdat er wordt uitgegaan van waarneembare zaken.

Een volgende stap is dat te verbinden aan de omschrijving van de wetenschappelijke empirische cyclus. Daarbij wordt met name door methodologen als Hahn (1930), Carnap (1936), Popper (1934), Lakatos (1978) en in Nederland De Groot (1961) gesteld dat er in wetenschap op een bijzondere manier geleerd wordt. Dat is mogelijk omdat voor die cyclus de eis gesteld wordt dat gedragingen observeerbaar moeten zijn als feiten (de empirie als uitgangspunt nemen) en inzicht controleerbaar in een te omschrijven theo-

rie. De kennis die dat oplevert heeft een bijzondere kwaliteit en is essentieel voor de speelruimte van een moderne samenleving.

In de zo verkregen (soms rudimentaire) theorieën wordt het verband dat er bestaat tussen bepaalde fenomenen in de natuur (of bij mensen) naar voren gehaald uit een veelheid van mogelijke verbanden. Dat wordt dan symbolisch uitgedrukt in een functie die meer of minder kan worden gekwantificeerd. Zo hebben fysici het verband beschreven tussen kracht, massa en snelheid. Economen pretenderen op die manier de relatie te leggen tussen het aanbod van goederen, de vraag naar goederen en de prijs die wordt overeengekomen. Psychologen drukten zo uit hoe de intensiteit van een fysische prikkel samenhangt met de mentale gewaarwording daarvan.

Gedrag is te veranderen op basis van observatie van datzelfde gedrag. De vraag is hoe dat op een logisch verantwoorde manier in een functie uitgedrukt kan worden. Moet gesteld worden dat gedrag  $G$  een functie  $F$  is van hetzelfde gedrag  $G$ , dus  $G = F(G)$ ? Wordt daarmee niet een tautologie geïntroduceerd?

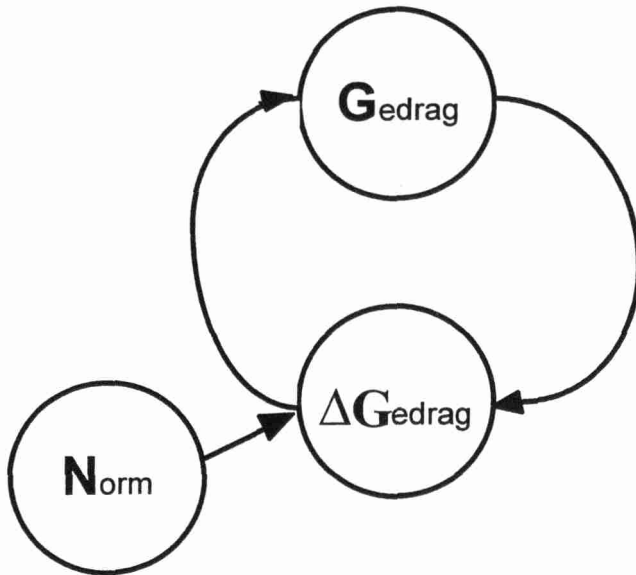
Wiener (1948) gaf een mooi antwoord op die vraag met behulp van het idee van terugkoppeling. Een goed voorbeeld om dat begrip te illustreren is de thermostaat. Een gewenste toestand (de temperatuur die men wil bereiken) wordt vergeleken met de geobserveerde toestand (de geobserveerde temperatuur) en is het verschil positief, dan wordt warmte toegevoerd, net zo lang tot het verschil nul of negatief is. Drukt men het wat abstracter uit dan wordt de toename van een gedragsvariabele ( $G$ ) gedurende een tijdseenheid ( $\Delta t$ ) functioneel gekoppeld aan de variabele zelf ( $G$ ) en een bepaalde norm ( $N$ ). In formule:

$$\frac{\Delta G}{\Delta t} = F(G, N)$$

### Vergelijking 1

Anders gesteld: er is een terugkoppeling tussen toename van een variabele en de waarde van de variabele zelf, rekening houdend met een gestelde norm. Bovenstaande vergelijking geeft dat vorm als differentievergelijking.





Afbeelding 2 Een doelgerichte empirische cyclus.

Zo kan men een doelgerichte empirische cyclus (*afbeelding 2*) beschrijven, waarin verschillende verbanden tussen variabelen figureren en waarden van variabelen gekoppeld zijn aan acties die waarden veranderen (eventueel op een onbekende wijze), net zo lang tot er gewenste normen zijn gerealiseerd. Voor de beschrijving van gedrag in de menswetenschappen ligt het voor de hand dat men gebruik maakt van een dergelijke denkwijze. Daarvoor zijn een aantal redenen te geven.

Allereerst ziet men in vele teksten van menswetenschappers gesteld dat de mens een veranderlijk wezen is en dat het de kunst is die veranderlijkheid wetenschappelijk uit te drukken. Als men daarbij op de tweede plaats ook stelt dat kwantificering van die veranderingen mogelijk en nuttig is, dan zijn vergelijkingen die een verandering kwantitatief uitdrukken het beste. Dus zal men het moeten zoeken in differentievergelijkingen zoals sommige vooraanstaande menswetenschappers doen (b.v. Coleman 1990; Forrester 1968; Meadows 1974).

## **Differentievergelijkingen**

Het is het voor menswetenschappers, die intentioneel gedrag kwantitatief willen beschrijven, logisch om te werken met differentievergelijkingen die een terugkoppeling tussen intentie en veranderend gedrag uitdrukken. Bij die terugkoppeling is:

- (1) een vergelijking tussen de waarde van een criterium-variabele en een norm in het hier en nu,
- (2) aanleiding tot acties in de toekomst om een discrepantie tussen die waarde en die norm bij te sturen,
- (3) om in de verder gelegen toekomst een veranderde waarde van die criterium variabele te kunnen constateren.

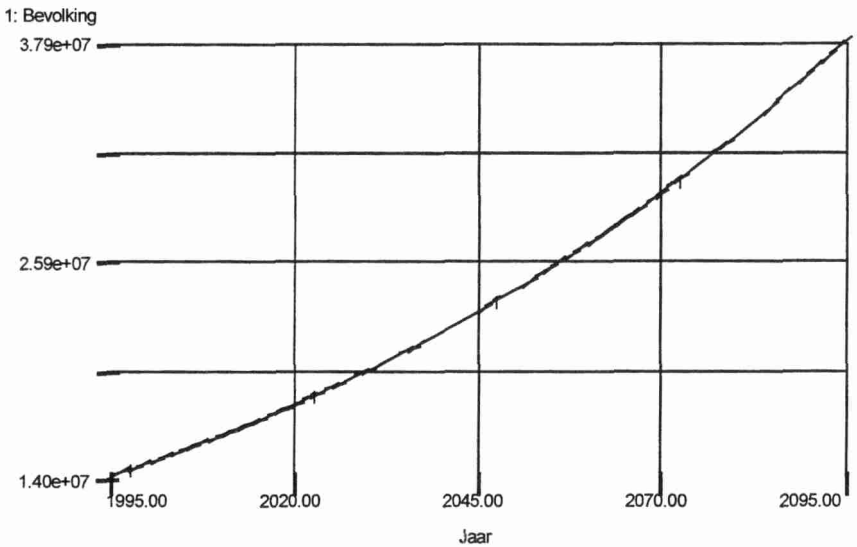
Zo zal een medicus in de gaten houden of de behandeling leidt tot een verandering van klachten, waarbij de behandeling net zo lang wordt volgehouden tot wordt voldaan aan de criteria van het behandeldoel, dat meestal het verdwijnen van klachten is. In (differentie)vergelijking 1 wordt dat uitgedrukt.

Kortom, voor het beschrijven van intentioneel gedrag zijn differentievergelijkingen waarin een variabele in opeenvolgende tijdstappen aan zichzelf refereert het wiskundig middel bij uitstek. Wie er de literatuur op naleest zal in de natuurwetenschappen talloze voorbeelden van deze terugkoppelingsmechanismen vinden en in de menswetenschappen een aantal voorbeelden. Leerzaam voor de menswetenschappen zijn de voorbeelden uit overgangsdisciplines als demografie, ecologie en epidemiologie. Zo is de differentievergelijking die beschrijft hoe een bevolking groeit of krimpt door geboorten en sterften altijd mooi om uit te leggen hoe een lineaire differentievergelijking aanleiding geeft tot een niet-lineaire ontwikkeling van de bevolking.

$$\frac{\Delta \text{OmvangBevolking}}{\Delta T} = \text{OmvangBevolking} * \\ (\text{Geboortenpercentage} - \text{Sterftenpercentage})$$

### **Vergelijking 2**

Deze differentievergelijking produceert de grafiek zoals aangegeven is in afbeelding 3.



Afbeelding 3 Een niet-lineaire bevolkingsgroei.

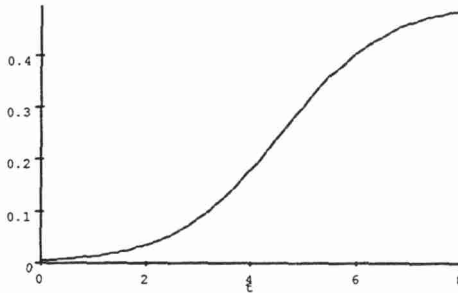
Voor lineaire differentievergelijkingen, die men door het willekeurig klein maken van  $\Delta$  (b.v.:  $\Delta t \rightarrow 0$ , waarbij  $\Delta t$  wordt uitgedrukt als  $dt$ ) kan transformeren tot differentiaalvergelijkingen, zijn er in de reguliere wiskunde heel wat hulpmiddelen ontwikkeld om ze analytisch op te lossen. De vraag is uiteraard in welke gevallen men met dit soort vergelijkingen kan werken. Vanuit het oogpunt van zuinigheid, — waarom zou je het moeilijk beschrijven als het net zo goed eenvoudig kan? —, is het aan te bevelen een spaarzaam gebruik te maken van niet-lineaire differentievergelijkingen. Immers, waar er voor lineaire differentievergelijkingen prachtige oplossingsstrategieën zijn ontwikkeld, blijkt wat niet-lineaire differentievergelijkingen betreft, wiskundigen aan het experimenteren te zijn. Dat betreft waarlijk fascinerende zaken, maar voor de wiskundige leken die de menswetenschappers toch in het algemeen zijn, is dat in eerste instantie moeilijk te bevatten. Men is dan ook in de menswetenschappen zeer terughoudend met niet-lineaire differentievergelijkingen, ook al vanwege het aan Popper toegeschreven idee (Swanborn 1987; Hart 1997) dat een lineaire vergelijking meer informatie bevat dan een niet-lineaire vergelijking. Desalniettemin zijn er

pioniers in de menswetenschappen te vinden die zich op het steile pad wagen van de niet-lineaire differentievergelijkingen.

## Niet-lineaire differentievergelijkingen

Wie op zoek gaat naar de motieven van die pioniers kan die vrij simpel vinden. Het werken met niet lineaire differentievergelijkingen is onontkoombaar als men zijn redeneringen logisch wil houden en wiskundig goed vorm wil geven. Laat ik om dat te illustreren uitgaan van het inmiddels klassieke voorbeeld van geremde bevolkingsgroei.

In de negentiende eeuw bedacht de demograaf Verhulst dat de groei van de bevolking die in eerste instantie vrij eenvoudig kon worden beschreven met een lineaire (bewegings)vergelijking, toch iets ingewikkelder in elkaar zat, omdat schaarsheid in bestaansmiddelen beperkingen oplegden aan de groei. Hij stelde dat het groeipercentage (geboortepercentage – sterftepercentage) werd beperkt door de schaarsheid aan bestaansmiddelen, oftewel dat het groeipercentage afhing van de bevolkingsgrootte.



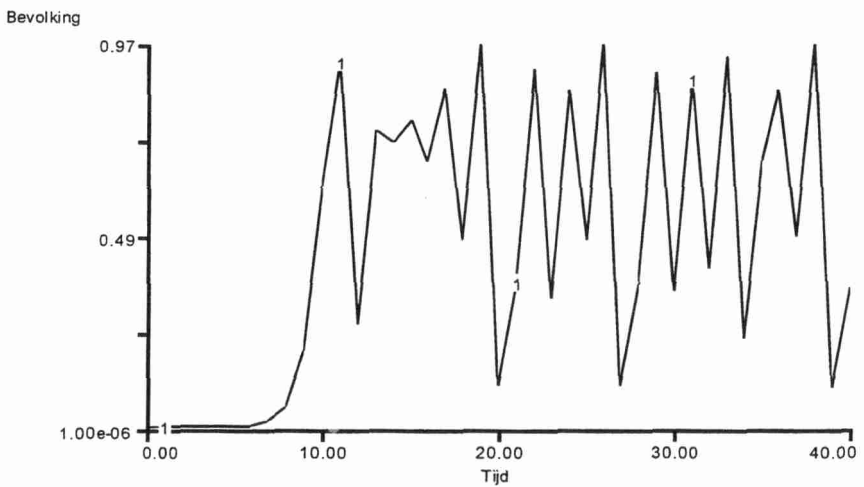
**Afbeelding 4** Grafiek van geremde groei.

Stelt men daarbij de maximale bevolkingsgrootte op 1 (dus bevolking (maximaal) =1) dan is één van de meest simpele manieren om dat uit drukken :

$$bevolking_{n+1} = bevolking_n * (1 - bevolking_n) * r$$

**Vergelijking 3**

Deze (iteratie)vergelijking die om te zetten is in differentievergelijking<sup>1</sup> en daarna in een differentiaalvergelijking lijkt in eerste instantie analytisch oplosbaar (zie b.v. Cullen 1996). Zij geeft dan aanleiding tot de (ordentelijke) curve van verzadigde groei zoals in *afbeelding 4* is aangegeven. Intussen is echter ook bekend uit een aantal vrij elementaire beschouwingen van de chaostheorie dat voor waarden van  $4 > r > 3$  de oplossing niet zo eenvoudig is en dat die er grafisch uitgebeeld er uit ziet als in *afbeelding 5* is aangegeven.<sup>2</sup> Het is een functie die bekend is als de logistische groeicurve en voor  $r$  in de buurt van 3 laat zien hoe het verschijnsel deterministische chaos er uit ziet.<sup>3</sup>



**Afbeelding 5** Grafiek van geremde groei in het chaotisch gebied.

Zou men het verrassende resultaat van de wiskundige exercities met deze vergelijking ook hebben kunnen verkrijgen door zich te beperken tot een lineaire differentiaalvergelijking? Theoretisch is dat goed mogelijk voor het niet-chaotische gebied van de geremde groei curve. Die kromme is immers min of meer eenvoudig te verkrijgen middels rekenkundige operaties uit de exponentiële groeicurve van *afbeelding 1*. Maar dat geldt niet voor het gebied van chaos en orde, zoals dat in *afbeelding 3* is afgebeeld. In dat geval moet men concluderen dat de informatie die de niet-lineaire vergelijking geeft niet te reduceren is tot lineaire vergelijkingen.

Maar, zou een volgende tegenwerping kunnen zijn, is de uitkomst die de chaostheorie geeft niet een wiskundig artefact waarvoor er in de fysische

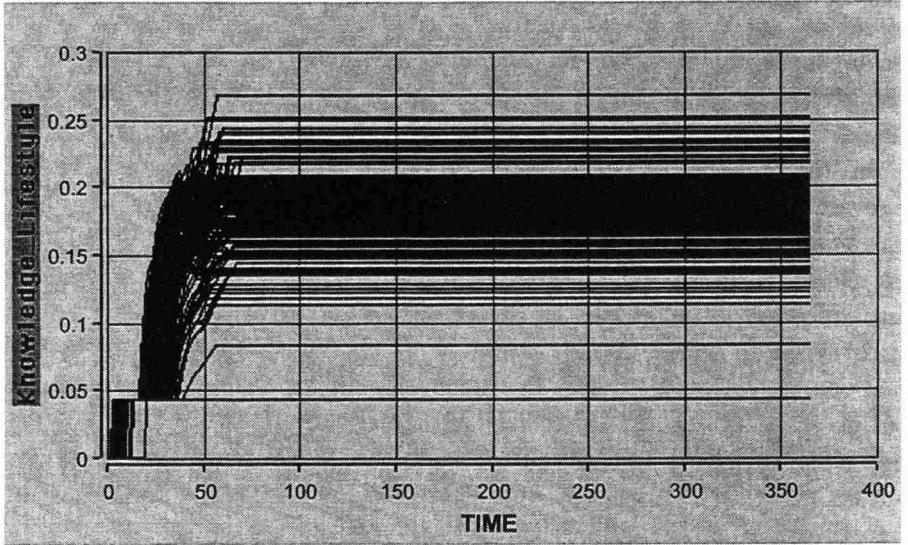
wereld geen zinvol te interpreteren correlaat bestaat? Ook dat idee kan worden tegengesproken. Biologen konden bij voorbeeld de boven beschreven grootheid  $r$  interpreteren voor de situatie van de groei van de populatie van vliegjes in een afgesloten ruimte. De groei bleek zeer sterk en willekeurig te kunnen fluctueren en dat kon exact worden beschreven met de boven aangegeven berekeningen. Een leuk Nederlands voorbeeld van het gebruik van deze vergelijking voor de beschrijving van patronen van ontwikkeling van een menselijke populatie gaf Oskamp (1992). Hij schilderde hoe de onvoorzienbare demografische ontwikkeling van een dorp in Brabant kon worden beschreven met faseportretten die bij dit soort vergelijking horen. Ook een fraai voorbeeld is een studie van biologen (Metz 1988) die met een variant van de logistische vergelijking konden laten zien dat kinderziekten zoals rode hond en mazelen zich in bepaalde situaties zo grillig konden verspreiden als in de boven aangegeven grafieken is geschilderd. Steeds bleek de chaostheorie patronen aan het licht te kunnen brengen waarover niet eerder was gerapporteerd. Geconcludeerd moet inmiddels worden dat niet-lineaire differentiaalvergelijkingen nieuwe informatie verschaffen die zinvol empirisch geïnterpreteerd kan worden.

## **Froniers**

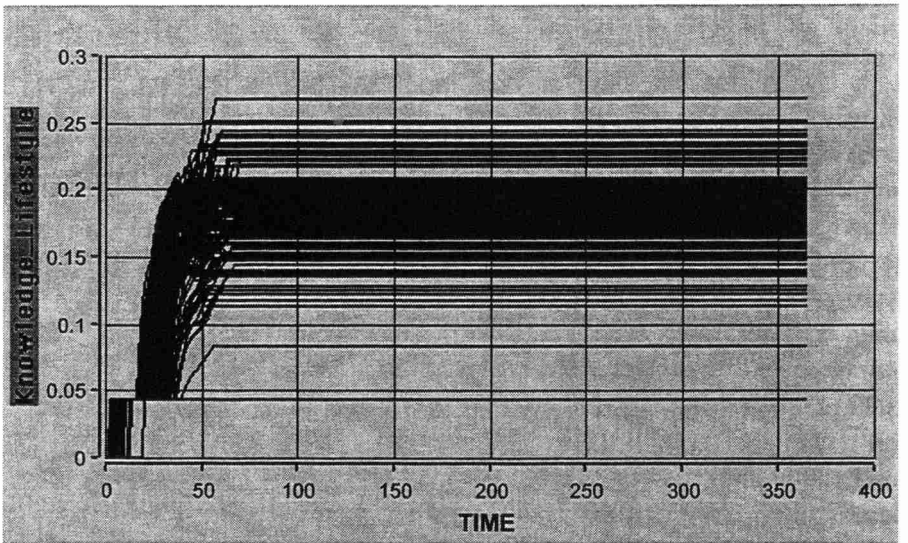
Dit was ook de conclusie van een aantal Nederlandse menswetenschappers en zij hebben dan ook – gesterkt door de wijze waarop natuurwetenschappers de chaostheorie c.q. de theorie van dynamische systemen tot een nieuwe bron van kennis hebben laten worden – de handschoen opgepakt.

De econoom Hommes liet bijvoorbeeld in 1992 zien dat de theorie van dynamische systemen niet lineaire-processen, bijvoorbeeld op de markt van vraag en aanbod, op een verhelderende wijze in kaart brengt. Economisch gedrag dat grillig en toevallig leek kan men met behulp van de deterministische chaos van niet-lineaire modellen inzichtelijk worden gemaakt.

Een mooie toepassing werd in 1992 gegeven door de psycholoog Been. Hij beschreef hoe de chaostheorie nieuwe inzichten biedt in de beschrijving van leesstoornissen. Sprongen in de oogbewegingen die het leesgedrag uitmaken, die niet goed konden worden beschreven in lineaire modellen, konden wel adequaat in kaart worden gebracht met hulp van de niet-lineaire modellen. Zo kunnen ontstane leesstoornissen, bijvoorbeeld dys-



Afbeelding 6 Vertakking van het leerpatroon bij leertraagheid 3.



Afbeelding 7 Vertakking van het leerpatroon bij leertraagheid 8.

lexie, beter worden beschreven en verklaard. De Groningse ontwikkelingspsycholoog Van Geert (1991) en zijn onderzoeksgroep betoogden in hun publicaties dat de sprongen in de cognitieve ontwikkeling van een kind, bijvoorbeeld waar het ging om de ontwikkeling van een woordenschat (Cats & Ruhland 1997) goed met het niet-lineaire model van Verhulst kan worden beschreven. In een samenwerking met de Amsterdamse ontwikkelingspsycholoog Molenaar (zie bijvoorbeeld: proefschrift Raijmakers 1996) wordt getracht cognitieve ontwikkelingsprocessen met behulp van de theorie van dynamische systemen te beschrijven en dat te koppelen aan het idee van neurale netwerken.

Voor de psychologie zijn er, zoals Vroon al in 1992 stelde, veel zaken goed met behulp van de chaostheorie te beschrijven. Zo heb ik zelf samen met andere onderzoekers (zie: Kuijk, e.a. 1998) een (simulatie)model geconstrueerd voor de wijze waarop (potentiële) patiënten reageren op gezondheidsklachten. In dat model wordt beschreven hoe door middel van diverse (gezondheids)acties wordt gereageerd op klachten, wat daarvan het vermoedelijke effect is en hoe dat neerslaat in gezondheidskennis van de desbetreffende patiënt. Op basis van bestaande theorieën over gezondheidsgedrag in de psychologie komen wij logischerwijs uit op een niet-linear model. In ons niet-lineaire model treedt een variabele op die aangeeft hoe snel er gereageerd wordt op terugkoppeling over het effect van de actie op de klacht. Dat kan volgens sommige theoretici geïnterpreteerd worden als leertraagheid, of als men wil als leersnelheid. De invloed van deze variabele in het niet-lineaire model kan worden nagegaan met behulp van computersimulatie. Gaat men er daarbij vanuit dat het ontstaan van gezondheidsklachten, behalve dan door de kwetsbaarheid in het lichamenlijk en psychisch functioneren, ook wordt bepaald door het toeval, dan geeft computersimulatie beelden te zien zoals in *afbeelding 6 en 7*.

Uit deze en andere beelden valt op dat de toevalsfluctuaties bij het optreden van klachten (bij vierhonderd cases) uiteindelijk uiteenlopende leerpatronen tot gevolg hebben. Bij een bepaalde leertraagheid treden verschillende vertakkingen op in het patroon van leren. Het patroon dat zo ontstaat kan men beschouwen als een kapitalisatie op het toeval: er ontstaan bij dezelfde soort patiënten verschillende typen van ontwikkeling. Die verschillende ontwikkelingen laten zich zien als verschillende mogelijke vertakkingen van een onderliggend dynamisch proces. Voor verschillende leertraagheden



komt men uit op een verschillend patroon van vertakking. Interessant is uiteraard de vraag hoe men deze uitkomsten verder theoretisch en empirisch kan interpreteren.

Het verschijnsel dat een dynamisch proces aanleiding geeft tot vertakkingen in haar evolutie, is door de natuurwetenschapper Prigogine (1980) uitgebreid bestudeerd. Hij liet zien dat de chaos die door niet-lineaire processen in sommige gevallen wordt geïntroduceerd leidt tot een patroon van vertakkingen, dat spontaan kan uitkomen op een nieuwe ordening. Hij gebruikte voor dat proces van ordening de term zelforganisatie.

Verrassend is de wijze waarop de Nederlandse bewegingswetenschapper Meijer in 1992 dat begrip gebruikte om te laten zien dat het idee dat wij met onze hersenen onze bewegingen sturen niet altijd klopt. Dat blijkt maar in zeer beperkte mate het geval omdat spiergroepen een eigen autonomie bezitten. Die autonomie kan ook met het begrip zelforganisatie worden beschreven.

Een belangrijke vraag is hoe men deze vormen van zelforganisatie bij mensen kan stimuleren. In de traditie van de bewegingswetenschap waarin Meijer staat zoekt men de 'triggers' van zelforganisatie in de omgeving van het individu. In deze traditie van de ecologische psychologie staat ook het onderzoeksprogramma van de Utrechtse hoogleraar Vermeer (1997) die fraaie voorbeelden geeft van de wijze waarop de omgeving wel of niet het vermogen tot zelforganisatie kan aanspreken en daarmee een persoon competent of incompetent maakt. Interessante antwoorden worden ook zeker gegeven vanuit de organisatie-theorie. In Nederland door Bahlmann (1988), Zuijderhoudt (1990), Broekstra (1992) en Mens-Verhulst (1992).

Dat voor het in kaart brengen van intentioneel handelen het begrip zelforganisatie een veelbelovend begrip was werd in Nederland intussen ook door een aantal sociologen begrepen. In het voetspoor van de ideeën van Wiener werd dat begrip in eerste instantie theoretisch geëxploreerd (Geyer & Zouwen 1991). De laatste jaren wordt echter ook de vraag gesteld hoe zelforganisatie empirisch kan worden onderzocht (Zouwen 1997). Daarbij vormt de chaostheorie een goed hulpmiddel om zelforganisatie door middel van computersimulatie exact in kaart te brengen (Dijkum 1997).

De methodoloog De Zeeuw (1992) ziet de wijze waarop deze pioniers zich laten inspireren door de chaostheorie in het verlengde van het idee dat de menswetenschappen zich niet alleen moeten richten op invarianties maar

ook moeten richten op het beschrijven en stimuleren van variaties. Daarmee sluit hij aan op datgene wat de antropoloog Bateson (1972) in zijn 'chaostheorie avant la lettre' al eerder stelde namelijk: "all creative systems necessarily exhibit sensitive dependence on initial conditions, and are therefore chaotic".

## **Mogelijkheden en belemmeringen voor een onderzoeksprogramma**

Leiden deze pioniersactiviteiten tot bloeiende onderzoeksprogramma's in de menswetenschappen op het gebied van de chaostheorie? Deze vraag moet ik helaas ontkennend beantwoorden. Het is zelfs maar de vraag of er sprake is van onderzoeksprogramma's. Ik vrees dat ik niet verder kan komen dan de constatering dat er op een aantal plekken in Nederland op een fragmentarische wijze onderzoek wordt gedaan met de chaostheorie als inspiratie. Stelt men zich de vraag of daarmee wetenschappelijke vooruitgang is te boeken, dan moet ik die vraag eveneens ontkennend beantwoorden. Naar mijn smaak is immers de chaostheorie in het bijzonder, maar zeker ook onderzoek in de menswetenschappen in het algemeen, een dermate ambitieuze zaak dat slechts bij een systematische inzet van hulpmiddelen, mensen en inspiratie er groei kan komen in de wetenschappelijke kennis.

De vraag is hoe men dat in de Nederlandse menswetenschappen voor elkaar krijgt. Allereerst zouden menswetenschappers iets kunnen leren van natuurwetenschappers zoals Broers & Verhulst (1990), Tennekens (1990) en Takens (1981). Dat zou echter wel moeten inhouden dat menswetenschappers zich meer moeten verdiepen in de taal die onontbeerlijk is in de exploratie van de chaostheorie, namelijk de wiskunde. Met het peil van aankomende studenten in Nederland valt het wel mee, maar ik vrees dat het universitaire docentencorps in de menswetenschappen te weinig ambitie heeft daarvan gebruik te maken. Mij verbaast bijvoorbeeld nog steeds dat de meerderheid van mijn collega's in de sociale wetenschappen meent dat het gebruik van differentievergelijkingen voor hun vakgebied nergens goed voor is. Slaat men er de literatuur op na, dan valt ook daar op dat differentie- of differentiaalvergelijkingen, laat staan niet-lineaire differentiaalvergelijkingen, nauwelijks worden behandeld bij wiskundige hulpmiddelen. Dat geldt ook voor de meer specialistische onderzoeksliteratuur. Het lijkt erop dat menswet-

schappers in Nederland hier zijn opgehouden met nadenken en met elkaar bij te scholen. Daar zou toch iets aan gedaan moeten worden.

Een andere reden is ook te geven. Wil men verschijnselen van chaos en orde in kaart brengen, dan heeft men een lange reeks van observaties nodig, hetzij samengebald in een korte tijdsperiode, danwel uitgestrekt over een langere tijd. Nu is het niet zo de gewoonte in disciplines als psychologie en sociologie zoveel waarnemingen te verrichten. De praktijk is eerder dat er bij een survey of in een experiment 1, 2, 3, 4 of als wij geluk hebben zelfs wel 5 keer, wordt gemeten. Die metingen gaat men vervolgens naarstig verwerken tot een verslag waarin een  $x$ -tal hypothesen en theorieën worden besproken wat betreft hun overeenstemming met de data, of liever wat betreft de niet-overeenstemming met de data. Vaktijdschriften staan vol met de details van dit weinig spectaculair speurwerk. Opvallend is ook het dicht bij de feiten staande karakter van de uitspraken die men doet. Er komen soms fraaie staaltjes van statistiek bij te pas, maar dat vraagt dermate kunst en vliegwerk dat men zich liever op de vlakke houdt van eenvoudige lineaire samenhangen. Het tijdafhankelijk karakter van samenhangen die uit de analyse zou moeten blijken komt bij gebrek aan langere tijdreeksen meestal niet uit de verf. Liever zoekt men de invarianties op, dan de variaties van ontwikkelingen met de tijd. Kortom de empirie verschaft een chaosonderzoeker meestal niet die feiten die er nodig zijn voor dat onderzoek. Als men een onderzoeksprogramma naar chaos en orde serieus neemt zou men ook hier het roer moeten omgooien.

Men kan het met Popper aan de andere kant zoeken in de constructie van gewaagde hypothesen en theorieën. Het is niet te ontkennen dat er in de menswetenschappen soms wordt gespeculeerd met gedurfde ideeën. Het probleem is dan echter dat de meeste menswetenschappers het niet wagen, zoals natuurwetenschappers dat wel doen, deze ideeën consequent en consistent logisch van het begin tot het einde te doordenken. Theorie- en modelbouw is in de menswetenschappen een stiefkindje en wie probeert de logische verantwoording van de bibliotheken die inmiddels wel in de menswetenschappen zijn geproduceerd in kaart te brengen komt van een koude kermis thuis. Dat zou men kunnen interpreteren als een stagnatie in kennisgroei. Te weinig wordt gebruik gemaakt van de gedurfde theorieën die menswetenschappers als Coleman, Forrester en Meadows op het toneel hebben gezet. Zij werken met een aantal duidelijke basisconcepten, denken die goed logisch door en deinzen er dan niet voor terug om differentiaalver-

gelijkingen te gebruiken. Als de ambitie om in de menswetenschappen zicht en greep te krijgen op doelgerichte veranderingen serieus wordt genomen leidt dat logisch gezien tot het gebruik van dit soort differentiaalvergelijkingen. Doorgaand op deze lijn van redeneren ligt het ook voor de hand in een aantal gevallen te werken met niet-lineaire differentiaalvergelijkingen. De chaostheorie is dan dichterbij huis dan de meeste menswetenschappers denken.

Het wordt zo ook weer zinvol om de inmiddels in het vergeetboek geraakte ambitie van methodologen als Popper, Lakatos en De Groot van stal te halen om een aantal logische vraagstukken met betrekking tot theorievorming op te lossen. Het is duidelijk dat de methodologische stelregel "dat lineaire modellen altijd meer informatie verschaffen dan niet lineaire modellen" gemendeerd moet worden. Dat betekent ook het inslaan van een andere weg in de oplossing van het probleem van falsificatie en verificatie. In de chaostheorie is er het inmiddels klassieke probleem hoe men aan de hand van een beperkt aantal data, het vermoeden dat men te maken heeft met een chaotisch proces, kan verifiëren. Van een Amerikaanse psychologe die promoveerde op het gebruik van de chaostheorie in de psychologie (Goerner 1994) heb ik al een aantal jaren geleden mogen horen dat de oplossing van dat probleem dicht bij huis lag, namelijk bij de (ook voor haar) wereldvermaarde stelling van Takens (zie b.v.: Broer & Takens 1990). Deze stelling maakt het mogelijk om in bepaalde omstandigheden uit een beperkte dataset het chaotisch proces te reconstrueren. Het lijkt mij de moeite waard die oplossing te gebruiken voor het opnieuw doordenken van het probleem van falsificatie en verificatie. Een ander nogal fundamenteel probleem in de menswetenschappen is hoe men een kwalitatieve beschrijving combineert met een kwantitatieve beschrijving. Ook daarop verschaft de chaostheorie een nieuw zicht. Computerberekeningen verschaffen grafieken met patronen die kwalitatief zijn te interpreteren, bijvoorbeeld als topologische uitspraken. Ook hiervan is er voor de menswetenschappen dicht bij huis een fraai voorbeeld te geven. Ferdinand Verhulst (1992) heeft zich namelijk de vraag gesteld of de kwalitatieve uitspraken van psychoanalytische theorie niet kunnen worden beschouwd als metaforen voor het exacte verloop van bepaalde chaotische processen. Het lijkt mij een methode die algemener toepasbaar is. Beschouw een kwalitatieve theorie als een verzameling metaforen, en ga na of die metaforen door middel van kwantitatieve analyses aangescherpt kunnen worden. Zo zijn er meer methodologische vraagstuk-

ken die de moeite waard zijn om vanuit het nieuwe gezichtspunt van de chaostheorie opnieuw te doordenken. Op deze manier worden ook de oplossingen gevonden voor vraagstukken die nu nog een methodologische belemmering vormen bij het opzetten van een onderzoeksprogramma naar orde en chaos.

Wat zeker de moeite waard is, is het opnieuw logisch doordenken van het vraagstuk van het determinisme. De geesteswetenschapper Dilthey (1883) bracht in de 19e eeuw het idee naar voren dat veranderingen in mens en maatschappij wel zijn te herkennen maar niet te voorspellen. De filosoof Stegmüller (1969) heeft wellicht iets van de intuïtie van Dilthey begrepen toen hij beweerde dat processen die deterministisch zijn niet ook persé mechanisch zijn te beschrijven. Dat was dan zijn amendering op het deterministisch wereldbeeld van Laplace.

Een intelligentie, die op een bepaald ogenblik alle krachten, die in de natuur werkzaam zijn, kon overzien en bovendien de betrekkelijke positie van alle delen waaruit zij bestaat, en die ook omvattend genoeg was om deze data aan wiskundige analyse te onderwerpen, zou in dezelfde formule de bewegingen van het heelal en die van het lichtste atoom kunnen omvatten: niets zou voor haar onzeker zijn, en de toekomst zowel als het verleden zou voor haar open liggen.

[Citaat uit: Struik 1965]

Door de chaostheorie is dat idee inmiddels weerlegd. Zelfs berekeningen op basis van eenvoudige rekenschema's c.q. algoritmen geven aanleiding tot analytisch onvoorspelbare resultaten. Met de wiskundige Penrose (1989) kan men beweren dat een wereld die deterministisch is, nog niet voorspelbaar c.q. berekenbaar hoeft te zijn, ook niet voor een almachtige intelligentie waar Laplace over schreef. Ook het idee dat het wereldbeeld van Laplace gered kan worden door de onzekerheid over de toekomst te beschrijven met behulp van het toevalsbegrip moet verworpen worden. Hedendaagse statistici (zie bijvoorbeeld: Grasman 1990, Chatterjee 1992) maken afdoende duidelijk dat deterministische chaos niet gelijk gesteld kan worden aan toevalsfluctuatie; de chaostheorie levert wat dat betreft nieuwe kennis en informatie op.

Deze weerlegging van het deterministische wereldbeeld is echter nog niet een voldoende reden om het te laten verdwijnen. Dat wereldbeeld heeft namelijk ook nog een sociale functie. Redelijk wat menswetenschappers klam-

pen zich (nog steeds) vast aan lineaire methoden omdat die de illusie verschaffen van zekerheid en controleerbaarheid. Deze methoden zijn niet in staat ontwikkelingen – laat staan niet-lineaire ontwikkelingen –, goed in kaart te brengen. Er is echter voor onderzoekers die met lineaire modellen werken en betaald worden weinig reden om dat te veranderen. Men kan het houden bij de technieken die men al kent, men hoeft zich niet op een vooralsnog onbekend terrein te laten bijscholen en men loopt geen risico om met nieuwe methoden een zekere toekomst te moeten inruilen voor een onzekere wetenschappelijke acceptatie en opbrengst. Bovendien passen technieken die werken met een statisch en gemystificeerd beeld van de wereld goed bij een bureaucratie, die een eenmaal aan de macht zijnde elite gebruikt om haar positie af te schermen en te versterken.

De huidige financiering en regulering van onderzoek in onderzoeksscholen en door NWO speelt daar een rol bij. Veel van het geld gaat nog steeds naar onderzoek waarin wordt gewerkt met eenvoudige lineaire modellen, al of niet opgetuigd met geavanceerde statistische technieken. Anonieme reviewers hebben in het proces van wetenschappelijke acceptatie en sturing een belangrijke functie. Dat is een deel van de operationalisering van het wetenschappelijk forum van Popper en De Groot. Echter een openbare wetenschappelijke discussie over de argumenten die de reviewers inbrengen ontbreekt veelal. Argumenten die reviewers inbrengen mogen tegenstrijdig zijn en gebrekkig onderbouwd, zoals menig indiener van een onderzoeksvoorstel inmiddels heeft ervaren. Zodra de reviewers op dezelfde administratieve categorie (een letter) uitkomen, is de beslissing gevallen en de rest niet meer terzake. Dat lijkt mij in ieder geval niet in overeenstemming met het ideaal van een inhoudelijke wetenschappelijke discussie. Daarin mogen alleen de argumenten tellen en zijn administratieve procedures ondergeschikt. Als echter de sturing en regulering van wetenschappelijk onderzoek verworden tot een bureaucratisch gebeuren dan is dat ongunstig voor innovatief onderzoek, zoals interdisciplinair onderzoek van chaos en orde. Om dat te corrigeren zou op zijn minst het debat over wenselijke wetenschappelijke ontwikkelingen in de universiteit en zeker bij NWO in ere moeten worden hersteld.

## Literatuur

Bahlmann, J.P. & Meesters, B.A.C.. *Denken en doen*. Eburon, Delft 1988.

Bateson, G. *Steps to an Ecology of Mind*. Ballantine, New York 1972.

Been, P. 'De dynamica van dyslexie.' In C. van Dijkum C. & D. Tombe (red.), *Gamma-chaos: onzekerheid en orde in de menswetenschappen*. Aramith Uitgevers, Bloemendaal 1992.

Broekstra, G. 'Chaossystemen als metafoor voor zelfvernieuwing van organisaties.' In C. van Dijkum & D. Tombe (red.), *Gamma-chaos: onzekerheid en orde in de menswetenschappen*. Aramith Uitgevers, Bloemendaal 1992.

Broer, H.W. & Verhulst, F. (red.), *Dynamische systemen en Chaos*. Epsilon Uitgaven, Utrecht 1990.

Broer, H.W. & Takens, F. 'Wegen naar chaos en vreemde aantrekking.' In H.W. Broer & F. Verhulst (red.), *Dynamische systemen en chaos*. Epsilon Uitgaven, Utrecht 1990.

Carnap, R. *Foundations of Logic and Mathematics, International Encyclopedia of Unified Science*. Chicago 1936, Vol. 1, no. 3.

Cats, M. & Ruhland, R. 'Simulatie van vroege taalontwikkeling.' *Wetenschappelijk tijdschrift voor informatica en modelbouw*. SISWO 1997, jaargang 6, nr. ½, 1.

Chatterjee, S.& Yilmaz, R.M. 'Chaos, Fractals and Statistics' *Statistical Science*. 1992, Vol. 7, nr. 1.

Chomsky, N. 'Three Models for Description of Language.' In R.D. Luce (Ed.) *Readings in Mathematical Psychology*. Wiley & Sons, New York 1965.

Coleman, J.S. *Foundations of Social Theory*. Harvard University Press, Cambridge Massachusetts 1990.

Cullen, M.R. & Zill, D.G. *Differential Equations with Boundary-Value Problems*. Brooks/Cole Publishing Company, Pacific Grove, California 1996.

Dijkum, C. van. 'Menswetenschappen en chaostheorie.' *Wijsgerig perspectief op maatschappij en wetenschap*. 1993, nr. 3, 34e jaargang.

*Chaostheorie in de menswetenschappen:  
een kwestie van (methodo)logisch doordenken*

Dijkum, C. van. 'Onderzoek van zelforganisatie als onderzoek van complexiteit: enige methodologische aantekeningen.' *Wetenschappelijk Tijdschrift voor Informatica en modelbouw*. 1997, nr. 1/2 p. 50-67.

Dilthey, W. 'Einleitung in die Geisteswissenschaften.' *Gesammelte Schriften* 1. Berlijn 1923 (oorspronkelijk 1883).

Forrester, J. *Principles of Systems*. Wright Allen Press, Cambridge 1968.

Geert, P. van. 'A Dynamic Systems Model of Cognitive and Language Growth.' *Psychological review* 98. 1991 (1).

Geyer, R. F., Zouwen, J. van. *Cybernetics and Social Sciences: Theories and Research in Sociocybernetics*. Kybernetes, 1991, Vol. 20, No. 6.

Goerner, S. *Chaos and the Evolving Ecological Universe*. Gordon and Breach, San Francisco 1994.

Grasman, J. 'Fractale structuren in de dynamica van systemen.' In H.W. Broer & F. Verhulst (red.), *Dynamische systemen en Chaos*. Epsilon Uitgaven, Utrecht 1990.

Groot, A.D. *Algemene Methodologie*. Mouton, Den Haag 1961.

Hahn, H. 'Die bedeutung der Wissenschaftliche Weltauffassung, insbesondere für Mathematik und Physik.' *Erkenntnis* 1. 1930.

Hart, H. e.a. *Onderzoeksmethoden*. Boom, Meppel 1997.

Holzcamp, K. *Kritische Psychologie*. Fischer Verlag, Frankfurt 1972.

Hommes, C. 'Chaotisch prijsgedrag in een eenvoudig economisch model.' *Wetenschappelijk tijdschrift voor informatica en modelbouw*. SISWO 1992, nr. 1.

Hull, C. *Essentials of Behavior*. Yale University Press, New Haven 1951.

Kuijk, E.A.W.J. van, Mens-Verhulst J., Dijkum C. & Lam N. 'A Model of Chronic Fatigue.' In J. Geurts & C. Joldersma (Eds.), *Proceedings of the 28th Annual International Conference International Simulation and Gaming Association (ISAGA)*. Tilburg University Press, Tilburg 1998 (in press).

Lakatos, I. 'Popper on Demarcation and Induction.' In G. Currie & J. Worrall (Eds.), *The Methodology of Scientific Research Programmes. Criticism and the Growth of Knowledge*. Cambridge 1978



- Laplace, P.S. 'Essai philosophique des probabilités.' In *Théorie analytique des probabilités*. Mme Ve Courcier, Paris 1812.
- Meadows, D. (Ed.), *Dynamics of Growth in a Finite World*. Wright Allen Press, Cambridge 1974.
- Meijer, O.G. & Bongaardt, R. 'Systeemtheorie Bewegingswetenschappen'. In *Wetenschappelijk tijdschrift voor informatica en modelbouw*. SISWO, 1992, nr. 2.
- Mens-Verhulst, J. van. 'Over zelfproductie van organisaties en chaosmanagement.' In C. van Dijkum & D. Tombe (red.), *Gamma-chaos: onzekerheid en orde in de menswetenschappen*. Aramith Uitgevers, Bloemendaal 1992.
- Metz, J.A.J. *Childhood Diseases and Dynamical Systems. CWI colloquium Models for the Spread of Infectious Diseases in Structured Populations*. CWI, Amsterdam 1988.
- Oskamp, A. 'Valkuilen voorspellen: chaos in de demografie.' In C. van Dijkum & D. de Tombe (red.), *Gamma Chaos: onzekerheid en orde in de menswetenschappen*. Aramith Uitgevers, Bloemendaal 1992.
- Penrose, R. *The Emperor's New Mind*. London 1989.
- Popper, K.R. *The Logic of Scientific Discovery*. Hutchinson and Co. London 1959. (Oorspronkelijke Duitse uitgave: Springer, Wenen 1934.)
- Popper, K.R. *The Open Universe: An Argument for Indeterminism*. Hutchinson & Co. London 1982.
- Prigogine, I. *Self-organization in Nonequilibrium Systems*. Willey, New York 1977.
- Raijmakers, M.E. *Epigenesis in Neural Network Models of Cognitive Development*. Academisch proefschrift. Faculteit der Psychologie, Amsterdam 1996.
- Stegmüller, W. *Historische, psychologische und rationale Erklärung*. Studienausgabe. Springer Verlag, Heidelberg 1969, Teil 3.
- Struik, D.J. *Geschiedenis van de wiskunde*. Spectrum, Utrecht 1965.
- Swanborn, P. *Methoden van sociaal-wetenschappelijk onderzoek*. Boom, Meppel 1987.

*Chaostheorie in de menswetenschappen:  
een kwestie van (methodologisch doordenken)*

Takens, F. *Detecting Strange Attractors in Turbulence. Dynamical Systems and Turbulence. Lecture Notes in Mathematics.* Springer Verlag, New York 1981. p. 366-381, 898.

Tolman, E.C. *Purposive Behavior in Animals and Men.* Century Comp, New York 1932.

Tolman, E.C. *Behavior and Psychological Man.* University of California Press, Berkeley 1966.

Verhulst, F. 'Metaphors for Psychoanalysis.' In *Nonlinear Science Today.* 1994, Vol. 4, No. 1.

Vermeer, A. 'Gehandicaptenzorg: context georiënteerde interventie.' Inaugurele rede Universiteit Utrecht. Bohn Stafleu Van Loghum, Utrecht 1997.

Vroon, P. 'Chaostheorie en menselijk gedrag.' In C. van Dijkum & D. Tombe (red.), *Gamma-chaos: onzekerheid en orde in de menswetenschappen.* Aramith Uitgevers, Bloemendaal 1991.

Wiener, N. *Cybernetics.* Wiley & Sons, New York 1948.

Zeeuw, G. de. 'Is chaos te zien?' In C. van Dijkum & D. Tombe (red.), *Gamma-chaos: onzekerheid en orde in de menswetenschappen.* Aramith Uitgevers, Bloemendaal 1992.

Zuijderhoudt, R. & Brummeler, ten L. 'Chaos en zelfordening bij het veranderen van organisaties.' In C. van Dijkum & D. Tombe (red.), *Gamma-chaos: onzekerheid en orde in de menswetenschappen.* Aramith Uitgevers, Bloemendaal 1992.

Zouwen, J. *The Validation of Sociocybernetic Models.* Kybernetes 1997, 6/7. p. 725-738.

## Noten

1. Deze ziet er iets ingewikkelder uit als:  
$$\Delta \text{bevolking} / \Delta t = \text{bevolking} * \{(1 - \text{bevolking}) * r - 1\}$$
2. Deze curve (en de curve van afbeelding 4) zijn gemaakt met behulp van de freeware (Mac en Windows) Madonna. In deze software worden de vergelijkingen geschreven als:  $B(t) = B(t - dt) + (\text{Delta}B) * dt$  ;  $\text{Delta}B = B * ((1 - B) * r - 1)$  ; INIT B = 0.000001; r = 3.9
3. Zie voor een meer diepgaande beschouwing het boek 'Dynamische Systemen en Chaos' van Broer & Verhulst (1990).

# Chaos en orde

De betekenis voor de organisatiekunde

*T. Bahlmann*

## 1. Inleiding

Eind tachtiger jaren nam een lid van het bestuur van het Studium Generale van de Erasmus Universiteit te Rotterdam het boek *Chaos* mee van James Gleick (1988).

De inhoud van dat boek was de aanleiding om een congres over de chaostheorie te organiseren. Dit paste goed in het programma dat al langer liep 'Grenzen aan de Wetenschap'. Het aardige van een Studium Generale is dat daar mensen vanuit verschillende disciplines elkaar kunnen ontmoeten. Dat was toen ook zo. In de commissie die de programma's voor 'Grenzen aan de Wetenschap' voorbereidden zaten natuurkundigen, mensen van medische informatica – die ik altijd whizz-kids noemde –, medici, juristen, een bedrijfskundige en een dichter.

Voor het congres werden wetenschappers uit heel verschillende disciplines uitgenodigd. Hen werd gevraagd de consequenties van de chaostheorie voor hun vakgebied aan te geven. Ook de bedrijfskunde werd hierin betrokken.

In die periode werd de chaostheorie in de managementliteratuur een hype. Het woord hype wordt in mijn vak vaak gebruikt net als begrippen als goeroe's. Er verschijnt weer een nieuw, oud, idee dat veel aandacht krijgt, alle organisaties gaan ermee aan de gang tot de volgende hype. Dat wordt veroorzaakt door het feit dat het sturen van organisaties moeilijk is en er geen eenduidige antwoorden zijn. Simpele recepten blijven dan aantrekkelijk.

In de periode waarin de chaostheorie een hype was gingen hoogleraren en organisatie-adviseurs met hun laptops langs bedrijven en andere organisaties en lieten fractalen zien en het onvoorspelbaar gedrag van lineair dynamische systemen. Veel toehoorders vonden de plaatjes prachtig, maar konden weinig relatie leggen tussen de chaostheorie en hun dagelijks werk.

Vanuit de hoek van de natuurkundigen kwam er veel kritiek op het gebruik van de chaostheorie binnen de sociale wetenschappen, vaak op het emotionele af. Je kunt niet zomaar een theorie uit de fysica overplanten op de maatschappelijke werkelijkheid. De chaostheorie zoals die bekend is vanuit de wiskunde en de fysica is op zich niet toepasbaar op de organisatiekunde. Echter, dat voorspelbaarheid, controleerbaarheid en beheersing ook in die disciplines niet bereikbaar zijn is een inzicht dat binnen de organisatiekunde ook steeds meer gaat leven.

De chaostheorie leverde alleen al als metafoor maar ook anderszins een bijdrage aan het denken over organisaties en heeft ook bijgedragen aan een verandering in de theorievorming. Hoe, zal ik hieronder uiteenzetten.

Om de invloed van de chaostheorie goed te kunnen aangeven wil ik kort beginnen iets te zeggen over het dominante beeld van organisaties in de organisatie-theorie. Ik zeg hier met opzet theorie omdat in de dagelijkse werkelijkheid niet altijd gebeurde wat die theorie veronderstelde. De theorie was ook vaak prescriptief, voorschrijvend: organisaties dienen zich zo te gedragen om succesvol te zijn.

Het dominante organisatiebeeld is die van de organisatie als machine. Het 'scientific management' van Taylor is daar wel het meest bekende voorbeeld van. Met een stopwatch was hij constant op zoek naar de meest efficiënte manier waarop het werk gedaan kon worden.

Werk wordt in ieder geval efficiënter gedaan als het wordt opgedeeld in deeltaken. Dat had Adam Smith in 1776 al beschreven in zijn boek *Wealth of Nations*. Hij haalt daarin het voorbeeld aan van een naaldenfabriek waar door het opdelen van taken bij het fabriceren van naalden een veel grotere omzet wordt behaald dan wanneer ieder individueel een naald zou maken.

Taylor trachtte door middel van tijdstudies vast te stellen wat de optimale taakeenheid was. Deze taakeenheden moeten dan weer gecoördineerd worden en dat gebeurde door de hiërarchie, waarbij ervan uitgegaan werd dat de top het geheel kon overzien. Mensen werden gezien als radertjes in het proces, die makkelijk voorspelbaar en vervangbaar moesten zijn. Als zij onvoorspelbaar gedrag zouden gaan vertonen liep immers 'de machine vast'. Aparte stafafdelingen bepaalden hoe uitvoerenden het werk moesten doen. Het denken en doen werden daardoor gescheiden.

Deze machineorganisaties functioneren goed in een stabiele omgeving. Als er iets verandert, waardoor alle onderlinge relaties in de machine moeten veranderen, werkt de machine niet meer.

Een belangrijk aspect aan deze theorie is dat er geen rekening wordt gehouden met ruimte en tijd. In wezen functioneert de machine alsof alles in de wereld bij het oude blijft en of binnen processen in organisaties dezelfde principes gelden als bij boutjes en moeren. Een impliciete veronderstelling in de theorie is de mogelijkheid van voorspellen, controleren en beheersen.

Deze theorie die ontwikkeld werd aan het einde van de negentiende eeuw stond onder grote invloed van het natuurwetenschappelijk denken uit de tijd van de Verlichting. De wereld als een groot uurwerk waarmee wetenschappers als Newton de bewegingen van planeten konden berekenen. Het meten, zoals de tijdstudies van Taylor, onderzoeken van relaties en het opdelen in kleine onderdelen.

De laatste tachtig jaar is het machinebeeld in de natuurwetenschappen steeds verder ondermijnd. De relativiteitstheorie ondermijnde de illusie van Newton van de absolute ruimte en tijd. De quantummechanica stelde de mogelijkheid van objectieve meting ter discussie en de chaostheorie ondermijnt het idee van Laplace dat ontwikkelingen voorspeld kunnen worden als er maar genoeg kennis is van de deeltjes en hun eigenschappen.

Aangezien ik ervan uitga dat de medeauteurs vanuit de verschillende disciplines de chaostheorie hebben toegelicht volsta ik hier met aan te geven wat de betekenis is van de chaostheorie voor de organisatiekunde. Allereerst worden een aantal aspecten besproken die door de chaostheorie in de aandacht zijn komen te staan. Daarna wordt met behulp van de chaostheorie de organisatie in crisis besproken. Afgesloten wordt met enkele instrumenten die zijn ontwikkeld om lerend te organiseren. Lerend organiseren is het antwoord op toenemende turbulentie rondom organisaties.

## **2. Bijdrage van de chaostheorie aan het organisatiekundig debat**

### **2.1. Dynamiek**

Binnen de organisatiekunde is veel behoefte aan eenduidige voorschrijvende modellen voor besturing. Binnen die modellen wordt geprobeerd de dynamiek te beheersen of uit te sluiten. Als een organisatie geconfronteerd werd met tegenvallende resultaten, heeft de leiding fouten gemaakt. Daarbij werd

de mogelijkheid van onvoorspelbaarheid uitgesloten. Door de chaostheorie werd duidelijk dat ook binnen de natuurwetenschappen stabiliteit, orde, niet de enige mogelijke staat is, maar dat er onvoorspelbare gebeurtenissen zijn. Het realiseren van voorspelbaarheid, inschattingen kunnen maken over bijvoorbeeld toekomstige kasstromen, blijkt maar zeer beperkt mogelijk. Anderzijds leidt dynamiek tot vernieuwing en innovatie.

Pirsig geeft in het boek *Lila*, een onderzoek naar zeden, het verschil weer tussen statische en dynamische kwaliteit. De statische kwaliteit verwijst naar regels en afspraken die leiden tot orde. De dynamische kwaliteit betreft het onvoorspelbare, daar zit de vernieuwing. Beide zijn noodzakelijk voor het leven, maar in de organisatiekunde gaat vaak de aandacht alleen naar de statische kant.

## 2.2. Toekomst is onzeker en ambigu

Om beslissingen over de toekomst te kunnen nemen werd in de zestiger jaren strategische beleidsvorming als instrument ontwikkeld. Hierbij gingen men ervan uit dat ontwikkelingen in zekere mate te voorspellen zijn. In veel gevallen is dat ook zo. Trends uit het verleden zetten zich door in de toekomst. Trendbreuken komen echter ook voor en die zijn moeilijk te voorspellen.

De chaostheorie geeft aan dat stabiele perioden, waarbinnen voorspellingen mogelijk zijn, afgewisseld worden op onvoorspelbare momenten door chaotische fasen. Deze zijn per definitie niet te voorspellen. Als dit onderkend wordt leidt dat tot een andere kijk op het sturen en structureren van organisaties. Deels kan op de toekomst geanticipeerd worden door voorspelbare trends te onderkennen. Onvoorspelbare ontwikkelingen leiden tot dynamiek. Daarop kan vaak niet met meer van hetzelfde worden gereageerd. Hierop kan alleen op het moment dat zij zich voordoen gereageerd worden. Om de organisatie hierop voor te bereiden dienen de onvoorspelbare trends voorstelbaar gemaakt te worden, waardoor het arsenaal van reactiemogelijkheden van de organisatie wordt uitgebreid. Dit doet men o.a. in de scenario-techniek zoals die ontwikkeld is door Shell die later in dit stuk aan de orde komt.

### **2.3. Feedbacksystemen, zowel positief als negatief**

Organisaties zijn feedbacksystemen. De aandacht voor feedbacksystemen komt voort uit de systeemtheorie. In wezen komt hiermee het procesmatige van organisaties in het zicht. In feedbackprocessen beïnvloedt variabele A variabele B, die op zijn beurt weer variabele A beïnvloedt. De meeste leidinggevendenden in organisaties gaan alleen uit van negatieve feedbackloop. Negatieve feedbackprocessen zijn nog het best te vergelijken met de thermostaat van de verwarming. Het is een zichzelf corrigerend systeem. De variabele, de temperatuur bepaalt wanneer het systeem weer afslaat tot een minimum norm is bereikt en de verwarming weer aanslaat.

Bij positieve feedbackprocessen daarentegen versterkt de uitkomst van een bepaalde actie de volgende actie. Dat wil dus zeggen: A beïnvloedt B om toe te nemen, waardoor A weer beïnvloed wordt om toe te nemen et cetera. Het proces versterkt zichzelf steeds. Dit leidt tot onbeheersbaarheid. Voorbeelden van positieve feedback loops zijn onder andere kettingreacties en self-fulfilling prophecies.

Beide processen komen voor in organisaties. Positieve feedback doet zich vaak voor als bedrijven in moeilijkheden raken en dit bekend wordt. Op dat moment gaan de partijen zich anders gedragen, leveranciers leveren alleen nog als contant betaald wordt, klanten gaan naar andere bedrijven omdat zij ook in de toekomst op het bedrijf willen kunnen blijven rekenen bijvoorbeeld voor service aan het product, banken gaan zich voorzichtiger opstellen, waardoor het bedrijf steeds verder in de moeilijkheden komt.

### **2.4. Werking van paradigma's**

De chaostheorie confronteerde ook de organisatiekundigen met hun beeld van de organisatie als machine. Een ander paradigma, dat van de chaostheorie, gaf nieuwe mogelijkheden om naar organisaties te kijken. Veel minder vanuit sturing van bovenaf en veel meer naar de mogelijkheden van zelforganisatie. Dit aspect wordt bij het deel over organisaties in crisis verder uitgewerkt.

### **2.5. Strategisch gedrag van organisaties**

De literatuur over strategievorming in organisaties gaat er veelal van uit dat strategieformulering intentioneel is. De chaostheorie geeft echter aan dat zich in de werkelijkheid ook onverwachte gebeurtenissen kunnen voordoen. Binnen een organisatie is dat ook waarneembaar. Naast de traditionele kijk



op strategieformulering hebben wij (Denken & Doen, 1988) waargenomen dat kleinere, maar ook sommige grotere organisaties spontane strategie toestaan. Een spontane strategie wordt, zoals Mintzberg stelt, gevormd in plaats van geformuleerd. In een eerder door ons uitgevoerd onderzoek hebben wij dat bij een aantal ondernemingen gezien. Een spontane strategie kan het best als volgt worden omschreven. Ergens in de organisatie zien mensen die contact hebben met de omgeving van de organisatie een mogelijkheid voor een nieuw product. De uitwerking van dat idee ontwikkelt zich. Men ziet dat bepaalde dingen werken en andere niet. Men haalt er mensen bij die nodig zijn om bepaalde gerezen problemen of blokkades op te lossen. Langzamerhand ontwikkelt zich een nieuwe winstgevende activiteit. Dit aspect heeft elementen in zich van zelforganisatie.

Spontane strategie is de strategie van 'al doende leren' en gaat ervan uit dat door de externe druk nieuwe vormen kunnen ontstaan. Dat betekent dat de oude wijze van sturing en organisatieontwerp ter discussie komt te staan.

## **2.6. Gedrag van mensen in groepen**

Mensen zullen zich niet altijd voorspelbaar gedragen. Alhoewel het idee in de organisatiekunde was dat binnen de organisatie opdrachten worden geformuleerd die dan precies zo worden uitgevoerd en/of onderlinge afspraken worden nagekomen, wijst de chaostheorie ons ook op de onvoorspelbaarheid van het gedrag van mensen in groepen. In een veranderingsproces kunnen vaak, zo op het oog, kleine acties enorme gevolgen hebben. Een video van John Cleese geeft daar ook een prachtig voorbeeld van: Cleese zit als een piloot in een vliegtuig samen met zijn co-piloot wat spelletjes te doen omdat ze zich vervelen. Op een gegeven moment bedenkt hij iets. Hij roept om: "Hier spreekt uw gezagvoerder, er is geen enkele reden voor paniek." Even later komt de steward binnengehold en vraagt wat er aan de hand is en zegt dat de passagiers ongerust worden. Dan roept Cleese om: "Er is geen brand in de linkervleugel". Daarna barst hij in lachen uit.

Dit voorbeeld geeft aan wat er kan gebeuren als er wordt gezegd door de leiding van een bedrijf dat er geen gedwongen ontslagen zullen vallen.

## **2.7. Rol van de informele organisatie**

Binnen de organisatieliteratuur is veel aandacht voor structuren en strategie. De informele organisatie, wat mensen in groepen doen, maar ook wat zij bespreken bij het koffiezetapparaat is van groot belang voor het functio-

neren van de organisatie. Wat mensen zeggen is vaak anders dan wat ze doen. Als leidinggevendenden zeggen dat de organisatie een bepaalde kant op moet gaan en de rationele achtergronden weergeeft van een besluit weten de mensen vaak wel dat er iets heel anders aan de hand is. Voor wetenschappelijk onderzoek naar organisaties levert dit nogal wat problemen op. Wat er echt gebeurt blijft vaak voor de onderzoeker achter de rationele verhalen verborgen.

### **3. Crisis en zelforganisatie**

In zijn roman *De Ondraaglijke Lichtheid van het Bestaan* stelt Milan Kundera tegenover de 'ondraaglijke lichtheid van het bestaan' de zware last van de eeuwige terugkeer der dingen en gebeurtenissen zoals beschreven door Nietzsche. Het feit dat iedere gebeurtenis uniek is, dat iedere keuze consequenties heeft, zonder dat mensen met zekerheid kunnen weten wat er gebeurd zou zijn als zij tot een andere keuze zouden zijn gekomen, leidt tot 'ondraaglijke lichtheid'.

De thematiek van de non-lineariteit vertoont overeenkomsten met de 'lichtheid'. Organisaties ver-uit-evenwicht weten niet als zij acties ondernemen wat precies de consequenties zijn, noch dat zij daarna weten welke consequenties precies dezelfde actie zal hebben.

Een mogelijkheid om de werking van de non-lineariteit te bestuderen is het kijken naar organisaties in een situatie ver-uit-evenwicht.

In het hiernavolgende betoog wordt de stelling verdedigd dat een organisatie in crisis te kenmerken is als een organisatie ver-uit-evenwicht.

Allereerst wordt nagegaan wat een crisis is. Daarna wordt aandacht besteed aan het crisisbegrip binnen het oude paradigma. Binnen het oude paradigma is er geen aandacht voor situaties ver-uit-evenwicht. Deze zijn gericht op beheersing en controle. Beargumenteerd wordt dat de theorie rondom de non-lineariteit, zoals weergegeven door Stacey (1993) een betere verklaring geeft voor het gedrag van organisaties in een crisis. Door een organisatie in crisis te kenmerken als zijnde ver-uit-evenwicht en aandacht te besteden aan de zelforganisatie die daarop ontstaat, toont zich ook de positieve kanten van een crisis, namelijk het mogelijk ontstaan van creativiteit en innovatie. Er zijn twee typen crisis en zelforganisatie te onderkennen, de één kan leiden tot innovatie van de organisatie, de ander kan leiden tot een inerte organisatie.

Het hiernavolgende betoog stoelt voor een belangrijk deel op een studie die in de tachtiger jaren is uitgevoerd bij zes Nederlandse bedrijven in een crisis (Bahlmann & Meesters, 1988) en verder op ervaringen in advies- en begeleidingstrajecten.

In de betreffende studie Denken & Doen (Bahlmann & Meesters, 1988) is veeleer descriptief gekeken naar het gedrag en het denken van organisaties rondom een crisis en hun ontwikkeling. De studie heeft niet de pretentie wegen aan te geven om succesvol uit een crisis te komen.

Het trachten te onderzoeken van methoden om succesvol als organisaties te functioneren is een valkuil waar zelfs Stacey (1993) instapt. Het geven van recepten om situaties die ver-uit-evenwicht zijn goed door te komen is strijdig met de notie van ver-uit-evenwicht zijn. Wel kan getracht worden patronen te herkennen.

### **3.1. Wat is een crisis?**

Als uitgangspunt wordt hier de volgende definitie van crisis gehanteerd: een crisis is een toestand waarin de oude levensgewoonten ontoereikend blijken voor een harmonische oplossing van gerezen moeilijkheden. (naar Van Dale, 1976)

Een crisis is dus een situatie waarin een individu, een groep mensen of een organisatie niet meer kan terugvallen op oude levensgewoonten, op hun oude gedrag en als gevolg daarvan op hun oude mentale modellen.

Dat een onderneming in een crisis verkeert is direct duidelijk als de verliescijfers bekend worden of de bank het krediet opzegt. Bij andere, niet op winst gerichte, organisaties ontbreekt vaak een dergelijke graadmeter. Deze organisaties worden geconfronteerd met bezuinigingen van de overheid of het afnemen van het maatschappelijk draagvlak.

Bij bedrijven zijn in het proces van het verwerken van een crisis andere patronen herkenbaar dan bij niet op winst gerichte organisaties. Daar wordt hierna verder op ingegaan.

De crisisbeleving van de individuen in de organisatie heeft ook consequenties voor het verloop van het veranderingsproces. Als de crisisbeleving in de zin van tijdsdruk en overlevingsangst bij de hele organisatie gering is, bijvoorbeeld omdat men verwacht dat de moederonderneming wel zal bijspringen, vinden er minder ingrijpende veranderingen plaats. Er is dan in mindere mate sprake van ontwikkeling en zelforganisatie. (Bahlmann & Meesters, 1988)

Hierna wordt eerst aandacht besteed aan het oude beeld of paradigma van een crisis. Daarna zal aan de hand van een aantal voorbeelden de stelling worden verdedigd dat organisaties met een crisisbeleving te kenmerken zijn als organisaties ver-uit-evenwicht. De patronen die waar te nemen zijn in een proces rondom een crisis komen daarna aan de orde.

### **3.2. Het oude paradigma of beeld van een crisis**

Volgens het oude paradigma, ook wel met de machine metafoor aangeduid (Morgan, 1986, Bahlmann & Meesters, 1988), is een crisissituatie iets dat voorkomen had moeten worden. De 'machine' is vastgelopen en de reparateurs hadden dat eerder moeten zien. De leiding heeft onvoldoende nagedacht: er is sprake van mismanagement. In dit oude paradigma van de organisatie-theorie is een crisis het gevolg van het slecht functioneren van de organisatie. De meest voorkomende reactie is kostenreducties doorvoeren. Achterliggende gedachte is dat de organisatie, de machine, efficiënter moet functioneren en dat het dan allemaal goed zal komen. Dat dat niet werkt werd goed verwoord door een topfunctionaris (Bahlmann & Meesters, 1988): "Wij hebben die bedrijven doodgereorganiseerd".

Een aantal zeer zelfstandige dochterondernemingen van een groot concern kwam op een bepaald moment in een verliesgevende situatie. De analyse was: de bedrijven zijn te duur, de gebouwen zijn te duur en er werken teveel mensen. Er werden kostenreducties doorgevoerd door mensen te ontslaan en alle extra's als personeelsuitjes et cetera werden afgeschaft. Een jaar later maakten de ondernemingen weer winst, echter twee jaar later waren zij weer verliesgevend en begon de hele reeks maatregelen opnieuw. De bedrijven werden kleiner en kleiner.

Wat echter niet bleek uit de cijfers die op het hoofdkantoor aankwamen was de sfeer in de onderneming, de mentale modellen van de leden van de organisatie en de goede invloed van de personeelsbijeenkomsten. De mensen in de organisatie kregen het gevoel dat zij niet goed functioneerden, goede mensen die weg konden gingen weg en de rest bleef gedemotiveerd, onzeker achter. Steeds weer werd bevestigd: jullie doen het niet goed, en wij van het hoofdkantoor weten hoe we dat moeten oplossen.

Met andere woorden de psychologische gevolgen van de kostenreducties en systeem-dynamische werking in de organisatie werden niet in de beschouwingen betrokken. De organisatie was in een zichzelf versterkend proces van falen gekomen dat niet meer te stoppen bleek. Door het verlies en de

reactie van het hoofdkantoor werden de mensen in de organisatie steeds weer bevestigd in hun idee: jullie doen het niet goed en zijn niet zelf in staat daar iets aan te doen. Wat onder andere ontbrak bij deze oplossing was inzicht in de dynamische aspecten van organisaties. Ook ontbrak een goede analyse van de omgeving van de organisaties.

Een ander, meer actueel beeld van organisaties is de organisatie als organisme. (Bahlmann & Meesters, 1988) Een organisatie moet zich aanpassen aan de omgeving. Een andere omgeving vraagt om een andere organisatie- (structuur). Een crisis wordt echter ook in dit beeld gezien als een fout van de leiding. De focus bleef: organisaties zijn succesvol en stabiel als zij goed aandacht besteden aan de omgeving en zich daaraan aanpassen. Een crisis bleef een gevolg van fout menselijk handelen: het niet goed aanpassen aan de omgeving. Er is immers allerlei instrumentarium om de omgeving in kaart te brengen. Het beeld is dat, als al dat instrumentarium goed wordt gebruikt, een crisis voorkomen kan worden. Onvoorspelbaarheid en turbulentie is binnen dit beeld niet aan de orde.

Binnen deze benadering kwam door de bijdrage van Emery en Trist turbulentie al wel aan de orde. In hun boek *The Causal Texture of Organizational Environments* breidden zij de open systeem theorie uit met het concept van de turbulent fields: "turbulence results from the complexity and multiple character of the causal interconnections". Toch duurde het tot begin negentiger jaren dat turbulentie in een complexiteits-theorie werd gevat, bijvoorbeeld door Lewin (1992) en Kauffman (1993). Het meest helder werd dit verwoord door Stacey (1993).

### 3.3. Wat schort er aan het oude paradigma?

Achteraf kan bij een crisis altijd goed aangegeven worden waarom iets is misgegaan. Toch zal hierna geanalyseerd worden waarom een organisatie in een crisis zich in een situatie ver-uit-evenwicht bevindt. Men weet van te voren niet wat de consequenties zijn van te nemen acties. Met andere woorden dat de eenvoudige conclusie niet juist is dat organisaties in een crisis die hadden kunnen voorkomen als zij juist hadden gehandeld.

Stacey (1993) onderscheidt drie soorten veranderingsprocessen:

- gesloten verandering;
- verandering onder controle (contained change);
- open eind verandering.

Gesloten verandering omschrijft een situatie waar het toekomstige gedrag van een systeem perfect voorspelbaar is. Zodra de wetten die het gedrag leiden geïdentificeerd zijn, en als de bepalende factoren van dit gedrag op ieder moment in wetten zijn gevoegd, is het gedrag bekend. Het is niet alleen 'in principe' voorspelbaar, het is ook mogelijk om met precisie te voorspellen. Het helpt om te denken in termen van duidelijke lineaire relaties tussen een oorzaak en een gevolg. Deze systemen zijn niet innovatief.

Verandering onder controle beschrijft een situatie waar de situatie van het systeem zodanig is dat we wetten van de waarschijnlijkheid kunnen gebruiken om het gedrag van het systeem te voorspellen. Dat is omdat een systeem dichtbij het evenwicht steeds dezelfde, herhalende, bewegingen maakt terug naar het evenwicht en de wetten van de waarschijnlijkheid werken alleen in situaties waar er veel zich herhalende gebeurtenissen zijn. In de tijd echter verdwijnt de mogelijkheid om het gedrag te voorspellen, voornamelijk vanwege de moeilijkheid om de omgeving te voorspellen.

Bij open eind veranderingen is het onmogelijk om op de lange termijn voorspellingen te doen; en het is onmogelijk om lange termijn consequenties te voorspellen omdat de relatie tussen oorzaak en gevolg verloren gaat in de details van de interacties die over de tijd plaatsvinden. Open eind situaties zijn situaties met onzekerheid en ambiguïteit waar de uitkomsten van acties onbekend zijn.

Organisaties ver-uit-evenwicht bevinden zich in een open eind verandingsproces. Een doorleefde crisis is een situatie waarin de organisatie zich in een situatie bevindt van ver van het evenwicht. Een crisis hoeft dus niet het gevolg te zijn van een slechte beheersing en controle, van mismanagement, maar het gevolg van een proces van ver-uit-evenwicht raken.

Een aantal voorbeelden dient hier ter adstructie voor deze stellingname.

**Argument 1:** *crisisbeleving zelf leidt al tot open eind verandering*

De oorzaken van een crisis zijn velerlei. Doch op het moment dat de crisisbeleving ontstaat, komen er allerlei processen in werking. Banken gaan anders reageren, leveranciers vragen extra zekerheden, de media kunnen zich ermee gaan bemoeien. Zo is het mogelijk dat louter een crisisbeleving een positieve feedback- loop in werking zet, waardoor er door de crisisbeleving zelf een crisis kan ontstaan.

**Argument 2:** *de oorzaak van een crisis ligt veelal in een groter geheel dan alleen de organisatie*

Een voorbeeld van een positieve feedback-loop die kan leiden tot een crisis, staat ook wel bekend staat als het 'bierspel' van Senge (Senge, 1990)

Hij stelt: "Als we systeemgericht willen denken moeten we verder kijken dan individuele fouten of pech" en "Een echt diep en nieuw inzicht is de manier waarop je begint te zien dat het systeem zijn eigen gedrag veroorzaakt."

Een jong en snel groeiend bedrijf wordt begin 1994 geconfronteerd met een verdubbeling van de vraag. Het blijkt dat de vraag van de detailhandel sterk is toegenomen en de groothandel ziet de voorraden drastisch slinken. Door het tijdsverschil tussen de bestelling en de levering (het bedrijf produceert de producten pas na een bestelling) gaat de groothandel grotere orders plaatsen dan de vraag van de detailhandel rechtvaardigt om de frustratie van nee verkopen te vermijden. Doch ook de detailhandel plaatst grotere orders na geconfronteerd te zijn met een kleinere levering van de groothandel dan besteld. Het bedrijf ziet zich genoodzaakt de productiecapaciteit drastisch uit te breiden. De angst dat bij nee-verkopen de klanten naar de concurrent zullen gaan in deze competitieve markt is groot. Er moeten hoge kosten gemaakt worden, maar besloten wordt de uitbreiding zodanig te doen plaatsvinden dat bij terugvallende vraag niet een productiecapaciteit aanwezig is die niet nodig is. In de zomer van 1994 valt de vraag naar dit seizoengevoelige product drastisch terug. Aan het begin van de zomer hadden de groothandel en de detailhandel hun orders ongeveer binnen en die blijven nu met die enorme voorraden zitten. De vraag bij ons jonge bedrijf klappt in en uiteindelijk gaat de fabrikant failliet.

Senge merkt op dat dit soort systemen alleen begrepen kunnen worden als de onderliggende patronen duidelijk zijn.

Met andere woorden de oorzaken van een crisis dragen vrijwel altijd de kenmerken in zich van positieve feedback processen, waarbij veelal een duidelijke relatie vooraf niet is te zien.

**Argument 3:** *individuen gaan zich onvoorspelbaar gedragen en kunnen bij kleine problemen grote bewegingen veroorzaken*

Als een organisatie in een proces komt waarbij duidelijk wordt dat er mensen ontslagen moeten worden raakt de organisatie in een situatie ver-uit-evenwicht omdat individuen en groepen onvoorspelbaar gaan reageren. Achteraf is het altijd wel te verklaren, maar vooraf is het niet te voorspellen.

Een man met een goede fulltime baan elders, werkte parttime bij een ideële organisatie. Het geld dat hij daarvoor kreeg was zeer weinig in vergelijking met zijn eigen salaris. Al jaren riep hij vanwege de problemen in de organisatie dat hij er eigenlijk mee wilde stoppen. De andere leden van zijn afdeling overtuigden hem dan iedere keer dat het toch belangrijk was als hij bleef. Toen de organisatie moest inkrimpen was hij de eerste op de lijst die ontslagen zou worden met een goede uitkering. Toen hem dat verteld werd, ontstak hij in woede en ging met iedereen in de clinch, gooide letterlijk zijn werk neer en voelde zich verongelijkt en mobiliseerde anderen om hem heen die ook met hem meegingen in de negatieve beeldvorming van 'de organisatie'. Dat leidde tot het vertrek van een groot aantal mensen en een zeer negatieve werkhouding van degenen die overbleven.

Met andere woorden het is al moeilijk het gedrag van een individu met een bepaalde waarschijnlijkheid te voorspellen, doch wat er daarna gebeurt kan volledig anders verlopen. Een kleine aanleiding in een crisisproces kan leiden tot heel grote consequenties die niet zijn te voorzien.

**Argument 4:** *individuen doorlopen de fasen van de verwerking van de crisis niet tegelijkertijd*

Een laatste argument voor de stelling dat een organisatie in een crisis zich in een situatie ver-uit-evenwicht bevindt is dat de verschillende individuen en groepen in een organisatie in een verschillende fase van verwerking van de crisis zitten.

De fasen van een rouwproces zoals beschreven door Kübler-Ross (Kübler-Ross, 1969) komen in vrijwel dezelfde vorm ook bij individuen in organisaties in crisis voor. De fasen vinden niet gelijktijdig plaats en de reacties in die fasen zijn ook van individu tot individu verschillend.

De eerste fase die een individu meemaakt, als een crisis zich aandient, is ontkenning. Alhoewel er allerlei signalen zijn gaat men gewoon door of er niets aan de hand is. Als ontkennen onmogelijk is treedt de volgende fase in: woede. Die woede kan zich op van alles richten, soms vrij willekeurig op collega's of de directie. Het derde stadium is dat van het marchanderen, vanuit het idee dat goed gedrag wel beloond zal worden. Marchanderen is in wezen een poging om uitstel te bewerkstelligen. Op individueel niveau kan dat zich uiten in het bezoeken van Jomanda, op organisatie niveau in steeds harder werken en toenemend ziekteverzuim. De vierde fase is de depressie, met gevoelens van machteloosheid, verdriet en angst. De wereld wordt grauw. Als deze fase doorlopen is kan door toevoeging van veel energie een



sprong worden gemaakt die leidt tot vernieuwing en ontwikkeling. (Bahlmann & Meesters, 1988)

Deze fasen, die door individuen verschillend in de tijd doorlopen worden, maken dat het proces van crisisverwerking onvoorspelbaar wordt. Als de directie, na zelf een tijd lang de crisis ontkend te hebben, ook naar de organisatie toe, uiteindelijk aanvaardt dat er een crisis is en dit bekendmaakt aan de mensen en weinig reactie krijgt, kan zij ten onrechte de indruk hebben dat de crisis snel en betrekkelijk eenvoudig doorlopen kan worden. Echter de mensen in de organisatie gaan zelf eerst door de fase van ontkenning. De woede komt later.

### **3.4. De patronen rondom een crisis**

Alhoewel een onderneming op een bepaald moment met slechte cijfers naar buiten komt en officieel in een crisis zit, kan een crisis beter omschreven worden als een proces dat leidt tot het steeds verder uit evenwicht raken. (Bahlmann & Meesters, 1988)

In een crisissituatie wordt het iedereen duidelijk dat de oude patronen van de organisatie niet meer leiden tot overleving van de organisatie.

De patronen rondom een crisis zijn verschillend. Twee typen crisispatronen kunnen worden onderscheiden, de acute en de slepende crisis. Alhoewel iedere crisis uniek is kunnen vrijwel alle patronen worden teruggevonden in één van de twee typen.

Bij een acute crisis is het duidelijk dat er op korte termijn acties moeten worden ondernomen, omdat de organisatie anders ophoudt te bestaan. Een bedrijf dat van de bank hoort dat met ingang van heden het krediet is opgezegd is een organisatie in een acute crisis.

Een slepende crisis is vaak te zien bij niet op winst gerichte organisaties. Er is wel een crisisbeleving, maar de middelen om uit de crisis te komen zijn verspreid over veel meer partijen.

#### **3.4.1. De acute crisis**

Als het duidelijk is dat de organisatie in een crisis verkeerd, bijvoorbeeld omdat het krediet is opgezegd, ontstaat er binnen de hele organisatie tijdsdruk en overlevingsangst.

Op dat moment is het heel duidelijk dat er op zeer korte termijn van alles moet gebeuren omdat anders de levensvatbaarheid van de organisatie verdwijnt.

Bij een acute crisis is sprake van een organisatie die als geheel bedreigd wordt. Daarbij geldt: 'vluchten kan niet meer'. De buitenwereld kan niet beïnvloed worden, want dat is zoiets ongrijpbaars als 'de markt'. Die kan niet door smeekbeden aangezet worden tot ander gedrag.

Dus de organisatie staat als geheel voor de taak snel iets te doen en met ideeën te komen voor veranderingen die de levensvatbaarheid waarmaken.

In een dergelijk crisissituatie ontstaat er spontaan zelforganisatie. Zelforganisatie als een proces waarin de componenten van het systeem, de individuen in de organisatie, spontaan communiceren met elkaar en direct samenwerken op een gecoördineerde en eendrachtige wijze.

Het blijkt (Bahlmann & Meesters, 1988) dat bij een acute crisis de hiërarchie wegvalt, de directeur niet meer de baas is en de mensen heel andere rollen gaan vervullen. Iedereen doet wat hij of zij vindt dat er moet gebeuren. Groepen mensen komen spontaan bijeen, iedereen besteedt veel energie aan het vinden van oplossingen. Men gaat dag en nacht door en in het weekend, er ontstaat een enorme solidariteit in de groep. Iedereen gaat allerlei dingen doen ook al staan die niet in zijn of haar functieomschrijving. Allerelei oude regels worden overtreden. Men gaat denken in termen van: het erop wagen, in ieder geval iets te doen, want zo kan het niet verder.

Haast van uur tot uur worden acties ondernomen om de situatie te verbeteren. Zowel mensen binnen de organisatie worden erbij betrokken, maar ook mensen van buiten zoals leveranciers waarmee heel andere relaties ontstaan. Het besluitvormingsproces vindt plaats in de groep waar iedereen intensief bijdraagt aan de besluitvorming. Conflicten en verschillen van mening worden geaccepteerd en leiden snel tot acties. In die omstandigheid komt men tot verandering van mentale modellen, immers de oude werkten niet. De druk maakt dat men de visie van de onderneming heel anders gaat formuleren.

Achteraf wordt heel positief teruggedacht aan deze periode. Men denkt met heimwee aan de enorme solidariteit, betrokkenheid en onderlinge band.

Analoog redenerend zou men deze situatie kunnen vergelijken met wat er gebeurt in dissipatieve structuren.

In deze situatie ver-uit-evenwicht wordt continu energie toegevoegd aan het systeem waarna op een bepaald kritiek punt innovatie plaatsvindt of een nieuwe strategische richting wordt gevonden. Op welk moment dat plaatsvindt is niet te voorspellen. Het kan ook gebeuren dat de organisatie uiteenvalt en verdwijnt.

### **3.4.2. De slepende crisis**

Bij een slepende crisis ligt het machtscentrum dat de crisis oplegt buiten de organisatie, maar wordt wel geacht beïnvloedbaar te zijn. In dit geval is het niet de ongrijpbare 'markt', maar een instantie die de organisatie dwingt te bezuinigen.

De zelforganisatie neemt in deze situatie andere vormen aan. Vanwege interactiepatronen tussen het machtscentrum en de organisatie kunnen individuen zich trachten aan te sluiten bij het machtscentrum. De mensen die dat niet lukt ervaren de crisis niet als 'wij gaan er met zijn allen tegenaan'. Vluchten kan nog. Leden van de organisatie hebben het gevoel slachtoffer te zijn. Hier bestaat niet het idee dat iedereen in hetzelfde schuitje zit.

Om de onderliggende patronen van een slepende crisis beter te begrijpen kan het fasemodel van Kübler-Ross behulpzaam zijn.

In een slepende crisis kunnen mensen langer de situatie ontkennen. Een aantal mensen geven aan dat er ingrijpende veranderingen aankomen, bijvoorbeeld bezuinigingen en dalende studentenaantallen, maar anderen gaan door alsof er niets aan de hand is. Mensen blijven vaak liever in een ellendige situatie zitten dan fundamenteel te veranderen. Een fundamentele wijziging van mentale beelden is pijnlijk en leidt tot periodes vol ambiguïteit en onzekerheid. Als er geen licht aan de horizon is kunnen mensen hieraan onderdoor gaan of er beter uitkomen. Zoals iemand zei: "Ik heb jaren met tegenzin bij die organisatie gewerkt, maar durfde niet te veranderen, ik had een goed salaris en een gezin om voor te zorgen. Mijn ontslag ervoer ik als het einde van mijn leven. Nu twee jaar later vind ik dat het eigenlijk veel eerder had moeten gebeuren."

De gevolgen hiervan kunnen gekenschetst worden als het 'blijven hangen voor een crisis'. Een dergelijk proces kost heel veel energie, groepen zijn steeds bezig het oude te handhaven of te herstellen, terwijl andere groepen naar het nieuwe willen.

In een dergelijk proces vindt zelforganisatie plaats rondom thema's die buiten de doelstelling van de organisatie vallen. Groepen vormen zich en gaan dingen doen in de buitenwereld zoals diensten aanbieden aan anderen die eigenlijk voor de organisatie ontwikkeld waren (Bahlmann & Meesters, 1988) Anderen gaan in groepen hun best doen de organisatie te verbeteren, bijvoorbeeld rond thema's als kwaliteitsverbetering. Het kenmerkende is het los zand aspect van die verschillende groepen. Een groep die met kwaliteitsverbetering bezig is, ziet dat als panacee voor de gevoelde problemen,

bedenkt allerlei mogelijke verbeteringen, die door de rest beleefd worden aangehoord, zonder dat het tot gedragsverandering leidt.

Een slepende crisis leidt tot veel zelforganisatie die er echter niet toe leidt dat de organisatie als geheel innoveert. Dat kost veel energie en de mensen raken op den duur uitgeput.

De organisatie kan die situatie verlaten als de leiding in staat is een gemeenschappelijke vijand te creëren en de organisatie constant bestookt met initiatieven ter verbetering.

### **3.5. Conclusie**

Een organisatie in een crisis bevindt zich in een situatie ver-uit-evenwicht. In een dergelijke situatie ontstaat spontaan zelforganisatie. Of dit leidt tot innovatie van de organisatie of een nieuwe strategische richting is afhankelijk van het type crisis. Een acute crisis leidt tot creativiteit voor het geheel en een slepende crisis tot creativiteit gericht op delen. Slechts een gemeenschappelijke dreiging onder tijdsdruk leidt tot zelforganisatie die de organisatie succesvol kan doen overleven.

## **4. Methoden voor organisaties om met orde en chaos om te gaan.**

Inmiddels zijn er allerlei technieken ontwikkeld om chaos en orde in organisaties te hanteren. Hierna zullen er enkele besproken worden.

### **4.1. Teams**

In een organisatie waar de mogelijkheid wordt gecreëerd voor spontane strategie zullen de eenheden relatief autonoom zijn met vrij grote bevoegdheden en ruimte om initiatieven te nemen. Deze relatief autonome eenheden zullen elkaar dus kunnen overlappen en insluiten, bijvoorbeeld op de gebieden van beleid, budgetten en opleidingen. Door integraal management waarbij grove kaders worden aangegeven zal een netwerkorganisatie kunnen ontstaan: mensen raadplegen anderen om hun problemen te kunnen oplossen. Het werken met relatief autonome teams is een noodzaak, maar niet altijd eenvoudig. Mensen zijn vaak lid van verschillende teams en zullen zich aan bepaalde teams meer gebonden voelen dan aan andere. De status van een team is ook belangrijk de status van een persoon in zo'n team. De afbakening van grenzen evenals tussen afdelingen wordt hiermee wel doorbroken, maar niet helemaal. Het blijkt dat als mensen gedwongen wor-

den lid te worden van een team het veelal minder goed functioneert als wanneer zij daar zelf voor kiezen. Hier zal vaak een evenwicht worden gekozen, door bijvoorbeeld mensen te vragen. Deze teams dienen lerende teams te zijn om echt effectief te kunnen functioneren. Dergelijke teams werken het beste als er grote druk is of een enorme uitdaging, eigenlijk wanneer er een mogelijk eindresultaat is dat voor iedereen veel oplevert. Oplevert in de zin van de oplossing van een probleem of het uitvinden van iets nieuws. Een goed voorbeeld hiervan is de opdracht aan het team in de Verenigde Staten: "Zet de eerste man op de maan". Deze uitdaging maakte het de teams mogelijk om het haast onmogelijke in korte tijd waar te maken. Teams kunnen alleen lerend zijn als de sfeer in de groep open is en ieder lid een gelijkwaardige (niet eenzelfde) bijdrage kan leveren. Soms is het goed alle teamleden eerst voor zichzelf allerlei aspecten, die hij (of zij) van belang acht gegeven het onderwerp, op te schrijven en te verzamelen zonder oordelen. Dit voorkomt dat in het gesprek aspecten verloren gaan van minder dominante, maar wel zeer capabele teamleden. Er zullen ook duidelijke afspraken gemaakt dienen te worden over hoe de teamleden met elkaar omgaan. Heel belangrijk is dat aandacht gegeven wordt aan het verwerkingsproces als een team blijkt te falen in de gegeven opdracht. Senge wijst ook op het belangrijke verschil tussen dialoog en discussie, waarbij het laatste meer uitgaat van win-loose situaties, terwijl het eerste meer win-win situaties oplevert: iedereen profiteert hiervan.

De aansturing zal meer geschieden aan de hand van plannen die door de lagere echelons worden geformuleerd en worden getoetst door de top. Zowel afdeling als teams formuleren de plannen en geven aan wat zij willen gaan doen, wanneer het verwacht wordt afgerond te zijn en hoe dat valt binnen de strategische intentie van de organisatie. De top beslist dan niet zonder opgaaf van redenen welke plannen wel en welke niet mogen worden uitgevoerd, maar staat onderhandeling toe. Dit eist van de managers de mogelijkheid om te onderhandelen, contracten te sluiten en er ontstaan rekenschapsrelaties. De hiërarchie blijft in stand. Maar de top zal veel meer dan voorheen niet de plannen opleggen aan de eenheden maar deze in onderhandelingen laten ontstaan. Aan het eind van de periode leggen de managers rekenschap af over de genomen initiatieven. De top en met hen het midden-management moeten het systeem als geheel in standhouden. Daarvoor moeten duidelijke mijlpalen worden vastgesteld en ook duidelijkheid zijn over de methode waarop geëvalueerd wordt. Het moet alle men-

sen duidelijk zijn wat er van hen verwacht wordt en waarop zij worden afgerekend. Alhoewel mensen ruimte krijgen moeten zij goed inzicht hebben in wat er van hen verwacht wordt. Dit geeft rust. Vaak blijkt in organisaties dat mensen de ruimte krijgen en onduidelijke taken en bevoegdheden hebben, waarbij onverwacht de leidinggevende kritiek geeft. Daarvan worden mensen alleen maar schuw en zullen risicovermijdend gedrag gaan vertonen.

Het is belangrijk een systeem te hebben waar initiatieven worden gestimuleerd, zodat mensen met ideeën komen.

Een lid van de Raad van Bestuur zei het volgende over zijn gedrag als mensen met ideeën bij hem kwamen: "Je kunt iemand hoogstens twee keer wegsturen en zijn ideeën afwijzen omdat je ze niet reëel acht. De derde keer kun je hem beter het idee laten uitvoeren en laten leren van een eventuele mislukking dan dat je het risico loopt dat hij niet meer met ideeën komt".

#### **4.2. Gedeelde visie**

Het werken met (zelfsturende) teams heeft het risico in zich dat de organisatie zich verschillende kanten op beweegt. De strategische intentie, uitgedrukt in een gedeelde visie, zorgt voor richting. Dat is het bindende element van de organisatie. Een visie in de betekenis van: wat willen wij betekenen voor de wereld. Het bindende element van de visie is gelegen in de uitdaging en de zingeving die deze geeft aan de leden van de organisatie. Het geeft betekenis aan het werk van een ieder in de organisatie.

Volgens Senge en anderen (In The Field Book) omvatten de leidende principes van een organisatie vier elementen. Deze leidende principes zijn het gevoel van gedeelde bestemming. Ten eerste de visie als een beeld van de gewenste toekomst, een toekomst die wij willen creëren. Mensen voelen zich betrokken bij de organisatie omdat die ook op een dieper niveau aansluit bij hun aspiraties. Het tweede element zijn de waarden. Waarden kunnen het best gezien worden aan de hand van het gedrag. Die waarden zullen in overeenstemming moeten zijn met de visie. Een sterke bindende visie die duidelijk gecommuniceerd wordt naar de buitenwereld, bijvoorbeeld 'wij willen een bijdrage leveren aan een schoner milieu' zal sterk onder druk komen te staan als uit het gedrag van de organisatieleden iets anders blijkt. Het derde element is de missie, waarvoor bestaat de organisatie? Het vierde is het doel. Iedere visie moet samengaan met specifieke te realiseren doelstellingen

Dit geheel zal aan de leden van de organisatie duidelijk moeten aangeven wat de organisatie wil en ook hoe zij daaraan kan bijdragen. Daardoor kunnen de medewerkers dit voor hun eigen situatie invullen en kunnen de relatief autonome eenheden hun eigen identiteit bepalen.

Een visie is ook belangrijk om richting te geven en op een adequate manier de omgeving te verkennen.

Een voorbeeld van iemand met een sterke visie is Anita Roddick, oprichtster van The Body Shop. In haar boek *Body and Soul* stelt zij: "I am still looking for the modern-day equivalent of those Quakers who ran successful businesses, made money because they offered honest products and treated their people decently, worked hard, spent honestly, saved honestly, gave honest value for money, put back more than they took out and told no lies. This business creed sadly, seems long forgotten." "I think all business practices would improve immeasurably if they were guided by 'feminine' principles – qualities like love and care and intuition." "To succeed you have to believe in something with such a passion that it becomes a reality."

De klassieke manier van besluiten in organisaties was topdown. Zoals reeds eerder werd weergegeven past het in het klassieke beeld dat alles gecoördineerd wordt via de hiërarchie en dat uiteindelijk de top alles overziet. De besluitvorming in de organisatie in een snel veranderende omgeving is dat de top tot beslissingen komt gebaseerd op informatie vanuit de organisatie. Er is als het ware een kringloop van informatievoorziening naar de top die besluiten neemt, maar via feedback weer kan corrigeren. Bij besluitvorming in dit kader wordt bedoeld: investeringsbeslissingen, het vaststellen van budgetten binnen welke ruimte de relatief autonome eenheden ruimte hebben om te functioneren.

Verder zal de besluitvorming in de organisatie veel meer ruimte moeten geven aan de autonome eenheden waardoor zelforganisatie kan ontstaan. Zelforganisatie heeft ruimte en grenzen nodig. Als er geen grenzen zijn bestaat de kans dat het geheel los zand wordt. Zonder ruimte kan de organisatie niet flexibel zijn.

Daarom balanceert de organisatie. Soms zal men moeten besluiten minder ruimte te geven of scherper grenzen te stellen, het andere moment zal dit weer juist andersom gaan. Dit geheel zal gaan via een proces van voortdurend aanpassen, vernieuwen en leren.

### **4.3. Omgaan met de onbekende toekomst**

Senge noemt een vijftal voorwaarden om lerend te kunnen organiseren. Een gedeelde visie is van belang, het kunnen leren in teams, persoonlijk meesterschap, systeemdynamisch kunnen denken en de mogelijkheid de mentale modellen te kunnen uitbreiden.

Onze mentale modellen, zo stelt hij, geven ons een bepaald beeld van de toekomst. Op grond daarvan worden beslissingen genomen. Om die mentale modellen te vergroten, kortom meer gedragsalternatieven te hebben voor de ongekende toekomst is bij Shell de scenariotechniek ontwikkeld.

## **5. De scenariotechniek**

Veel toekomstscenario's, die door planbureaus en andere instituten worden gepubliceerd, gaan uit van trends die men vandaag waarneemt en doortrekt naar de toekomst. Dat wordt niet met de scenariotechniek in dit verband bedoeld. In deze techniek gaat men niet uit van het heden en projecteert dat op de toekomst, maar projecteert men een toekomst en gaat van daaruit terug naar het heden.

Deze scenario-techniek is al meer dan tien jaar geleden ontwikkeld bij Shell om besluitvormers te helpen beter te reageren op onverwachte toekomstige gebeurtenissen. Het is een methode om strategisch meer flexibel te kunnen reageren. De scenario techniek is een leermethode. Het beïnvloedt de mentale modellen die mensen hebben over de toekomst. Mensen hebben gewoonlijk een beeld van de toekomst dat is gebaseerd op ervaringen uit het verleden of het heden. Maar in een snel veranderende wereld zijn deze beelden niet toereikend. De scenariotechniek tracht verschillende mogelijke toekomstën zichtbaar en overdraagbaar te maken. Scenario's worden gebruikt om de onzekerheid en onvoorspelbaarheid in kaart te brengen. Het gaat er daarbij niet om dat de toekomstbeelden waar zijn, maar om met verschillende mogelijkheden te experimenteren. Hierdoor creëren we 'herinneringen aan de toekomst'. Uit onderzoek van David Ingvar is gebleken dat mensen informatie selectief waarnemen en alleen nieuwe informatie oppikken als dat ergens al een keer is opgeslagen in hun hersenen. Een toekomst die je al gezien hebt leidt ertoe dat informatie, die aangeeft dat die toekomst ook werkelijkheid wordt, wordt waargenomen.



Scenario's in dit verband geven mogelijke toekomsten weer. Een goede methode is om scenario's te formuleren rondom dilemma's die er zijn over toekomstige gebeurtenissen. Die zijn van branche tot branche, van onderneming tot onderneming, verschillend. Zo waren twee belangrijke dilemma's bij Rijkswaterstaat een aantal jaren geleden: gaat de nadruk in de toekomst steeds meer liggen op duurzame ontwikkeling, dus het milieu of op economische overwegingen en het tweede dilemma was: wordt Brussel steeds belangrijker en daaraan gekoppeld de regionale ontwikkeling of ligt de macht steeds meer bij Den Haag. Met behulp van twee dilemma's kunnen vier scenario's worden gemaakt. Een scenario waarin duurzame ontwikkeling en Den Haag meer nadruk krijgt, of economische ontwikkeling en Brussel en zo verder.

Er komen hier dus vier mogelijke toekomsten uit. En omdat de twee extremen van de dilemma's opgerekt worden levert dit een spanning op.

Rondom die thema's wordt dan een verhaal, een scenario geschreven. Dat verhaal moet wel consistent zijn met de gekozen extremen van de dilemma's.

Er liggen dan vier scenario's en dan kan het leerproces starten.

Mensen worden gedwongen zich andere toekomsten eigen te maken en die te koppelen aan vragen van vandaag. Daardoor worden zij meer flexibel. Het is gebleken dat mensen, nadat zij door een aantal scenario's waren gegaan, kranten anders gingen lezen. Zij namen meer en andere berichten waar. Daardoor kunnen zij in staat zijn haarscheurtjes, veranderingen die nu nog heel klein zijn maar later grote gevolgen kunnen hebben, beter waarnemen of hebben zij er al over nagedacht hoe zij daarop zouden kunnen reageren.

## **6. Samenvatting**

De chaostheorie heeft invloed gehad op de organisatiekunde. Met name de dynamische kant van het ondernemen kwam daardoor weer meer in zicht. Er is betoogd dat organisatie in een crisis te vergelijken met systemen ver-uit-evenwicht. Verder is aangegeven dat een crisis niet altijd het gevolg is van het falen van de leiding maar gevolg kan zijn van onvoorspelbare gebeurtenissen. De dynamiek die de organisatie ver-uit-evenwicht beleeft kan leiden tot zelforganisatie, creativiteit en innovatie of tot het verval van de organisatie. Dit proces vindt sneller plaats bij bedrijven die niet meer

kunnen marchanderen. Door overheden gefinancierde organisaties kunnen in een slepende crisis raken waardoor zelforganisatie kan leiden tot zeer verschillend gerichte acties. Bewustwording van processen rondom een crisis kan bijdragen tot een beter begrip en aanleiding zijn tot acties. Inzicht in zelforganisatie draagt bij tot een beter begrip van organisatieprocessen. De theorie over organisatieleren geeft aan hoe organisaties met dynamiek kunnen omgaan. Een aantal aspecten van deze theorie is in dit artikel aan de orde gesteld, zoals het belang van een visie, werken met teams, netwerken en de scenariotechniek.

## **Literatuur**

Bahlmann, J.P. en B.A.C. Meesters. *Denken & Doen. Een studie naar ontwikkeling en strategische heroriëntatie van zes Nederlandse ondernemingen rond een crisis.* Eburon, Delft 1988.

Bahlmann, J.P. *Bedrijfseconomie in een Turbulente Omgeving.* Eburon, Delft 1992.

Emery, F.E. en E.L. Trist. *The Causal Texture of Organization Environments.* *Hum. Relat.* 18, 1965. p. 21-32.

Ingvar, David. 'Memories of the Future: An Essay on the Temporal Organization of Conscious Awareness'. In *Human Neurobiology.* 1985. p. 127-136.

Kauffman, S.A. *The Origins of Order.* Oxford University Press, Oxford 1993.

Kübler-Ross, Elisabeth. *Lessen voor Levenden.* Ambo, Bilthoven 1969.

Lewin, R. *Complexity: Life at the Edge of Chaos.* Macmillan, New York 1992.

Morgan, Gareth. *Images of Organization.* Sage Publications, Beverly Hills 1986.

Pirsig, Robert M. *Lila, een onderzoek naar zeden.* Bert Bakker, Amsterdam, 1991.

Prigogine, I. en I. Stengers. *Order out of Chaos: Man's New Dialogue with Nature.* Bantam Books, New York 1984.

Senge, Peter M. *The Fifth Discipline; The Art & Practice of The Learning Organization.* Doubleday 1990.

Stacey, Ralph D. *Strategic Management and Organizational Dynamics.* Pitman Publishing, London 1993.

# Chaosanalyse van boezemfibrilleren\*

*J. de Goede,  
B. Hoekstra en  
M. van der Heyden*

## Introductie

Het dynamisch gedrag van vele normale fysiologische functies is sterk periodiek van aard. Voorbeelden zijn het pompen van het hart, de ademhaling en het dag-nacht ritme. Echter, alle normale processen vertonen ook een zekere mate van onregelmatigheid. Het tijdsinterval tussen twee hartslagen bijvoorbeeld is nooit precies hetzelfde en het aantal ademhalingen per minuut varieert. Veelal schrijven wij deze onregelmatigheid toe aan invloeden van buitenaf, of wij nemen aan dat deze voortgebracht worden door het organisme zelf. Wanneer de oorsprong van de onregelmatigheden niet gemakkelijk te duiden is spreken wij van 'biologische ruis' en wij nemen aan dat ze een gevolg zijn van zeer vele toevallige factoren en invloeden. Wij beschrijven deze biologische ruis dan ook met toevalsprocessen. Vaak kennen we aan biologische ruis een functionele betekenis toe. Hartritmevariabiliteit bijvoorbeeld wordt gebruikt om de invloed van het sympathisch en parasympathisch zenuwstelsel op de regeling van het hartritme te karakteriseren.

Veel stoornissen in fysiologische systemen gaan gepaard met een veranderde regelmatigheid, een aanwijzing dat het systeem niet goed meer functioneert. Voorbeelden van veranderde (on)regelmatigheid zijn de verlaging van de reeds genoemde hartritmevariabiliteit in diabetici en de verhoogde regelmatigheid van het EEG tijdens epileptische aanvallen. Het is gebruikelijk ook de uitingen van dergelijke stoornissen met toevalsprocessen te beschrijven.

Het werk van Edward Lorenz in 1963 (zie [Schuster]) op het gebied van de meteorologie heeft echter duidelijk gemaakt dat onregelmatig dynamisch gedrag ook kan optreden in zeer eenvoudige deterministische modellen.

Voor dit type gedrag hebben Li en Yorke in 1975 (zie [Schuster]) de term chaos ingevoerd. Voor de beschrijving van chaotisch gedrag zijn dus geen toevalsbronnen nodig. Al spoedig werd het denkbeeld geopperd dat biologische ruis mogelijk het gevolg zou kunnen zijn van chaotische dynamica. Deze 'biochaos' zou dan ook aanwezig zijn als alle toevallige invloeden uitgeschakeld zouden worden. De onregelmatigheden, zoals die in het hartritme, moeten dan gezien worden als een uiting van de intrinsieke dynamica van het hart zelf. Ook hartritmestoornissen zouden in dit denkbeeld het gevolg kunnen zijn van een chaotisch proces. Het is dan ook de moeite waard om te onderzoeken of op het oog ingewikkeld dynamisch gedrag te begrijpen is met eenvoudige chaotisch modellen. Wanneer we willen bepalen of een fysiologisch systeem chaotisch is moeten we beschikken over methoden die onderscheid kunnen maken tussen chaotische en stochastische (toevals) dynamica.

De methoden ontwikkeld in de chaostheorie stellen ons daartoe in staat. Om deze methoden toe te lichten zullen wij bespreken hoe in het algemeen chaotische systemen worden beschreven. Daarna zullen we aan de hand van de elektrische activiteit van het hart tijdens normaal sinusritme en boezemfibrilleren laten zien hoe een chaosanalyse in de praktijk wordt uitgevoerd. Wij zullen echter beginnen met een korte uitleg over de fysiologie van het hart zelf.

## **Het hart en boezemfibrilleren**

Het hart is een holle spier die ongeveer 70 keer per minuut samentrekt en zo het bloed door het lichaam pompt. De contracties komen tot stand door de gecoördineerde elektrische prikkeling van de hartspiercellen die daarop samentrekken. De elektrische puls ontstaat op een speciale plaats, de sinusknop, gelegen in de rechterboezem en wordt van daaruit voortgeleid over de beide boezems, over de atrioventriculaire knop naar de beide kamers. Dit noemen we het sinusritme. Het regelmatige actiepatroon kan door vele oorzaken verloren gaan. Een hartritmestoornis die vaak voorkomt bij oudere mensen is boezemfibrilleren. Bij deze stoornis met een prevalentie van 2 tot 4% in de bevolking van ouder dan zestig jaar, worden de boezems niet meer geactiveerd door alleen de sinusknop. Op de boezems zijn talrijke, kriskras door elkaar heen lopende, kringstroompjes aanwezig die tot gevolg hebben

dat de boezems onregelmatig en in een zeer hoog tempo van 400 tot 600 slagen per minuut samentrekken. Hoewel de atrioventriculaire knoop slechts een deel van deze slagen voortgeleidt naar de kamers is de activatie van de kamers volstrekt onregelmatig en versneld tot 100 tot 160 slagen per minuut. Ofschoon boezemfibrilleren niet direct levensbedreigend is wordt de hartfunctie sterk verminderd en bestaat het gevaar voor de vorming van bloedstolsels en trombo-embolische complicaties.

## **Chaotische dynamica**

Voor de beschrijving van het tijdsgedrag van een systeem voeren we het begrip toestand in en een voorschrift (evolutieregel), die ons in staat stelt te bepalen hoe de toestand met de tijd verandert. De toestand van een systeem is dus de informatie die nodig is om het toekomstige gedrag van het systeem te voorspellen en het verleden te reconstrueren wanneer de evolutieregel gegeven is en bepaalt op elk moment het systeem volledig. De toestand van een systeem op een bepaald tijdstip wordt vastgelegd door de waarden van de toestandsvariabelen. Als eenvoudig voorbeeld kiezen wij een wrijvingsloze slinger. De toestand van de slinger wordt gegeven door de waarden van de afwijking uit de verticale evenwichtstand en de snelheid van de verandering van de uitwijking. De evolutieregels volgen uit de wetten van Newton.

De beweging van de slinger kan "zichtbaar" gemaakt worden als een baan in een zogenaamde toestandsruimte. Voor onze slinger nemen wij als toestandsruimte een plat vlak waarin met behulp van een Cartesisch assenkruis de uitwijking en snelheid tegen elkaar worden uitgezet. Voor (kleine) afwijkingen levert dit een gesloten ellipsvormige baan op. De beweging is volkomen regelmatig.

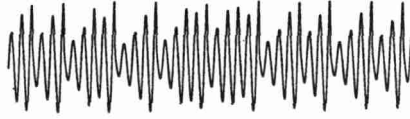
Zoals uit het werk van Lorenz volgt kan zeer onregelmatig dynamisch gedrag reeds optreden in eenvoudige deterministische systemen waarvan de toestand door minimaal drie toestandsvariabelen wordt vastgelegd (onze simpele slinger voldoet hier niet aan en kan dientengevolge geen chaotisch gedrag vertonen). Chaotisch gedrag treedt op wanneer aan twee verdere voorwaarden voldaan wordt. In de eerste plaats moet het systeem niet-lineair zijn. Een dynamisch systeem is lineair wanneer de evolutie van de

som van twee mogelijke toestanden gelijk is aan de som van de evoluties van de twee toestanden afzonderlijk. Wanneer een systeem niet aan deze eigenschap voldoet is het niet-lineair. In de tweede plaats moet het systeem een exponentiële gevoeligheid voor beginvoorwaarden vertonen. Dit houdt in dat twee begintoestanden die zeer dicht bij elkaar liggen in de toestandsruimte explosief (exponentieel) uit elkaar bewegen onder de evolutieregel. De baan van een systeem met volkomen regelmatig dynamisch gedrag ligt op een eenvoudige meetkundige figuur zoals de ellips in het geval van de wrijvingsloze slinger. De meetkundige figuur waarop de dynamica van het systeem 'leeft' wanneer inslingereffecten zijn uitgestorven wordt een aantrekker genoemd. De baan van een chaotisch systeem echter ligt in het algemeen op een zeer ingewikkeld geometrisch object dat door de Belgische theoretisch fysicus David Ruelle en de Nederlandse wiskundige Floris Takens in hun studie naar het karakter van turbulente vloeistofsystemen een vreemde aantrekker genoemd wordt. Een vreemde aantrekker is een voorbeeld van een zogenaamde fractaal, een meetkundige figuur met als kenmerkende eigenschap dat bij uitvergroten van een onderdeel weer de oorspronkelijke figuur (in statische zin) te voorschijn komt. Fractalen zijn vooral bekend geworden door het werk van Benoit Mandelbrot en voor een uitgebreide behandeling van fractalen verwijzen wij naar zijn boek.

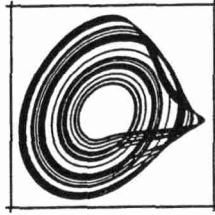
## **Reconstructie van dynamica uit tijdreeksen**

Bij het bestuderen van dynamische systemen kunnen wij bijna nooit de volledige toestand van het systeem in de tijd volgen. We moeten ons in het algemeen tevreden stellen met het meten van één of meer eigenschappen of toestandsvariabelen in een bepaalde tijdsspanne. Dergelijke reeksen van metingen worden tijdreeksen genoemd. Wij zouden graag met behulp van deze tijdreeksen kennis vergaren over de mechanismen die deze tijdreeksen voortbrengen. De reconstructiestelling van Takens levert een voorschrift hoe wij uit slechts een enkele tijdreeks een toestandsruimte kunnen reconstrueren die een getrouwe afspiegeling is van de werkelijke toestandsruimte [Takens]. In de chaostheorie zijn rekenmethoden ontwikkeld waarmee bepaalde grootheden die de dynamica karakteriseren kunnen worden bepaald in de gereconstrueerde toestandsruimte. Deze grootheden noemen we invarianten. Het is van belang op te merken dat nadere kennis van het systeem buiten de tijdreeks niet noodzakelijk is.

TIME SERIES



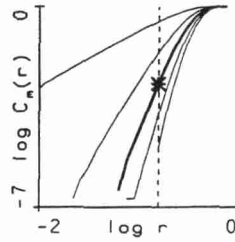
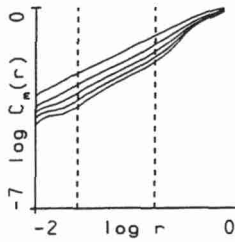
STEP 1  
PHASE PLOT



SCALING

NO SCALING

STEP 2  
CORRELATION  
INTEGRALS



STEP 3

CORRELATION DIMENSION  $D = 1.9$

$D_{cg} \approx 8.5$

CORRELATION ENTROPY  $K = 0.1$

$K_{cg} \approx 2.7$

**Figuur 1**

Illustratie van de belangrijkste stappen in een chaosanalyse. De tijdreeks, fase-figuur en correlatie-integraal (grafiek links beneden) komen voort uit een tijdreeks (4000 punten) van de x-coördinaat van het model van Rössler [Schuster]. De correlatie-integraal is getekend bij inbeddingsdimensie  $m=2,6,10,14$  en 18 (van boven naar beneden). Een schalingsgebied is afgebakend tussen de gestippelde lijnen. Correlatiedimensie  $D_2 \approx 1.9$  en correlatie-entropie  $K_2 \approx 0.1$  nats/sec. De correlatie-integralen, rechts beneden, zijn berekend uit een tijdreeks (4000 punten) bestaande uit ongecorreleerde Gaussische ruis. De grofkorrelige correlatiedimensie  $D_{cg} \approx 8.5$  en de grof-korrelige correlatie-entropie  $K_{cg} \approx 2.7$  nats/sec zijn berekend bij de afstand  $r=0.15$  (asterix) bij inbeddingsdimensie  $m=10$  (dik getrokken lijn).

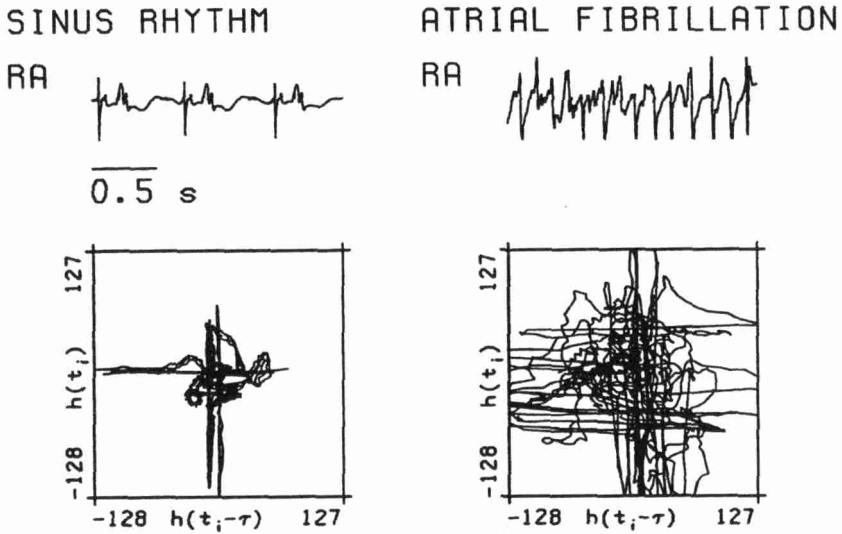


Wij zullen later aan de hand van de gemeten elektrische activiteit tijdens sinusritme en boezemfibrilleren laten zien hoe een dergelijke chaosanalyse in de praktijk uitgevoerd wordt. Eerst zullen we aan de hand van een modelvoorbeeld de belangrijkste stappen in een chaosanalyse illustreren [Kantz & Schreiber].

Zoals in figuur 1 aangegeven beginnen we met een tijdreeks. Een eerste indruk van de onderliggende dynamica van de tijdreeks krijgen we door een tweedimensionale weergave van de toestandsruimte te maken (fasefiguur) door de waarde van de tijdreeks op een bepaald tijdstip uit te zetten tegen de volgende waarde een bepaalde tijd later. Merk op dat in ons voorbeeld de fasefiguur een uitgesproken meetkundige structuur heeft. We kijken dus naar de organisatie van de puntenwolk van een stukje tijdreeks bestaande uit twee punten. Op analoge wijze kunnen we ook een driedimensionale fasefiguur maken die ontstaat uit stukjes tijdreeks bestaande uit drie achtereenvolgende punten in de tijdreeks. Meer algemeen kunnen we op een dergelijke manier de structuur van de puntenwolk in een  $m$ -dimensionale gereconstrueerde toestandsruimte bestuderen ontstaan uit stukjes tijdreeks van  $m$  achtereenvolgende waarden. Het aantal punten  $m$  in dit segment wordt ook wel de inbeddingsdimensie genoemd. In de volgende stap bepalen we de sleutelgrootte in de chaosanalyse, de zogenaamde correlatie-integraal.

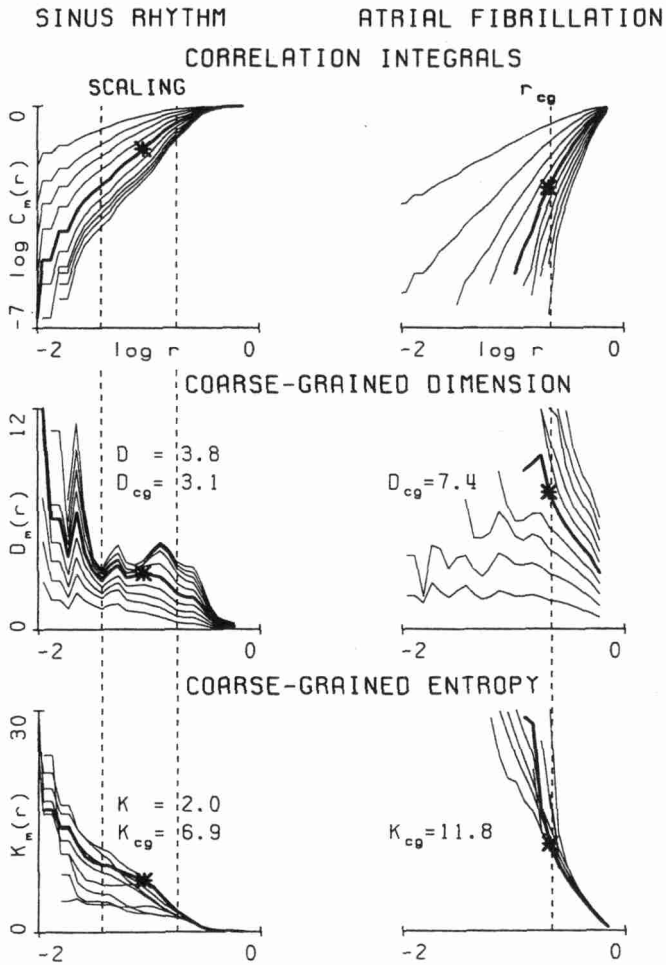
De correlatie-integraal  $C_m(r)$  is de fractie van de puntenparen in de gereconstrueerde  $m$ -dimensionale toestandsruimte waarvan de afstand kleiner of gelijk is aan  $r$ . Uit de correlatie-integraal kunnen we nu twee andere grootte afleiden, de correlatie-dimensie  $D_2$  en de correlatie-entropie  $K_2$ . Hiertoe zetten we de logaritme van  $C_m(r)$  uit tegen de logaritme van de afstand  $r$  (stap 2 in figuur 1). We onderscheiden nu twee gevallen.

In het eerste geval is er schaking. Dit betekent dat er een lineair stuk is in een gebied tussen twee afstanden (het gebied tussen de gestippelde lijnen in figuur 1). De helling is nu gelijk aan de waarde van de correlatie-dimensie. Het is een maat voor de ruimtevulling van de toestandsruimte door de baan gereconstrueerd uit de tijdreeks. Het weerspiegelt de geometrische complexiteit van de aantrekker. In het algemeen is de correlatie-dimensie van een vreemde aantrekker een gebroken getal (een fractaal). Een alternatieve interpretatie is dat de correlatie-dimensie het aantal toestandsvariabelen repre-



**Figuur 2**

Elektrogram gemeten op het epicard van de rechterboezem (RA) tijdens sinusritme en boezemfibrilleren. Beneden: de overeenkomstige fasefiguren.



**Figuur 3**

Correlatie-integralen  $C_m$ , grofkorrelige dimensie  $D_{cg}$  en grofkorrelige entropie  $K_{cg}$  tijdens sinusritme (links) en elektrisch geïnduceerd boezem-fibrilleren (rechts). Dubbel logaritmische grafiek  $10\log C_m'$  tegen  $10\log r$  bij inbeddingsdimensie  $m=2$  (boven) tot  $m=2$  (beneden) met incrementen van 2. Grofkorrelige dimensie  $D_{cg}$  en grofkorrelige entropie  $K_{cg}$  bepaald bij inbeddingsdimensie 10 (dikke getrokken lijn) bij een afstand van  $r_{cg}$  (asterisk). Tijdens sinusritme is er een schalingsgebied tussen de gestippelde lijnen met een correlatie~dimensie  $D_2=3.8$  en een correlatie-entropie  $K_2=2.0$  nats/sec.

senteert dat nodig is om de dynamica te beschrijven van het systeem dat "leeft" op de aantrekker. De waarde van de correlatie-integraal neemt af wanneer we gaan van inbeddingsdimensie  $m$  naar  $m+1$ . De snelheid waarmee dit gebeurt is een maat voor de "woestheid" van de dynamica. Het is tevens een maat voor de snelheid waarmee stukjes tijdreeks bestaande uit  $m$  punten van elkaar gaan verschillen wanneer we deze met een punt vergelijken. Deze maat noemen we de correlatie-entropie. Het reconstructietheorema van Takens houdt nu in dat de correlatie-dimensie en -entropie, bepaald in de gereconstrueerde toestandsruimte, dezelfde waarde hebben als die in de oorspronkelijk toestandsruimte mits de inbeddingsdimensie voldoende groot is.

In het tweede geval is er geen schalingsgebied. Dit betekent dat de dynamica, die de tijdreeks genereert, niet beschreven kan worden met een eenvoudig chaotisch model. We gaan nu als volgt te werk. Voor een geschikt gekozen waarde van de afstand  $r$  bepalen we nu de helling van de correlatie-integraal in dat punt en noemen dit de grofkorrelige correlatie-dimensie  $D_{\sim}$ . De snelheid waarmee de waarde van de correlatie-integraal daalt, voor vaste waarde van  $r$ , gaande van  $m$  naar  $m+1$  noemen wij de grofkorrelige correlatie-entropie  $K_{cg}$ . We kunnen nu in alle gevallen tijdreeksen karakteriseren met twee getallen, de correlatie-dimensie en de correlatie-entropie, al of niet grofkorrelig. Dit geeft ons de mogelijkheid om tussen tijdreeksen te discrimineren door naar de waarden van deze "invarianten" te kijken.

Deze methodologie gaan we nu toepassen op twee registraties van de elektrische activiteit (elektrogram) gemeten op het epicard (de hartwand) van de rechterboezem van een patiënt tijdens een open-hart-operatie. Het ene elektrogram is normaal sinusritme, het andere tijdens elektrisch geïnduceerd boezemfibrilleren. De resultaten zijn samengevat in de figuren 2 en 3.

## **Conclusies**

De resultaten uit de elektrogrammen van negen patiënten laten nu het volgende beeld zien [Hoekstra]. Episoden van sinusritme vertonen kenmerken van laag-dimensionale chaos. Het ontbreken van een schalingsgebied in de correlatie-integralen van elektrogrammen tijdens elektrisch geïnduceerd

van laag-dimensionale chaos. Het ontbreken van een schalingsgebied in de correlatie-integralen van elektrogrammen tijdens elektrisch geïnduceerd boezemfibrilleren tonen aan dat boezemfibrilleren niet begrepen kan worden als laag-dimensionaal chaotisch. Wel laten de grofkorrelige dimensie en entropie een classificatie toe in drie verschillende typen boezemfibrilleren. Deze typen worden gekenmerkt door opklimmende dimensie en entropie waarden. Eenzelfde classificatie werd gevonden door de elektrische patronen in tijd en ruimte te bestuderen [Konings].

## **Discussie**

De essentie van chaosanalyse is het systematisch en kwantitatief vergelijken van alle segmenten verkregen uit een gemeten tijdreeks waarbij we ook de lengte van de segmenten variëren. De resultaten van een chaosanalyse zijn onafhankelijk van de beschrijvingswijze van het systeem en beperken de verzameling van mogelijke modellen om de dynamica te beschrijven. Door de waarden van de dimensie en entropie met elkaar te vergelijken kunnen we in principe verschillende typen tijdreeksen karakteriseren en de dynamica van systemen classificeren op een manier die niet altijd mogelijk is met het gebruik van meer traditionele lineaire methoden.

Het is echter duidelijk geworden dat de methoden uit de chaostheorie gemakkelijk aanleiding kunnen geven tot zeer misleidende en zelfs incorrecte resultaten. Bovendien zijn fysiologische tijdreeksen in de regel vaak kort, ruisachtig en niet-stationair. Dit beperkt de toepasbaarheid van huidige methoden uit de chaostheorie. Het is dan ook een grote uitdaging de beperkingen van bestaande methoden op te sporen, het geldigheidsgebied uit te breiden en nieuwe methoden te ontwikkelen

\*\* De schrijvers danken Prof. Dr. M.A. Allesie en zijn groep (Vakgroep Fysiologie, Universiteit Maastricht) voor het beschikbaar stellen van de elektrogrammen.

## **Literatuur**

Hoekstra B.P.T., C.G.H. Diks, M.A. Allesie and J. de Goede. 'Nonlinear analysis of epicardial electrograms of electrically induced atrial fibrillation in man'. *J. Cardiovasc. Electrophysiol.* 1995, 6. p. 419-440.

Kantz H. and T. Schreiber. *Nonlinear Time Series Analysis*. Cambridge Nonlinear Sciences Series 7. Cambridge University Press, Cambridge 1997.

Konings K.T.S. C.J.H.J. Kirchhof, J.R.L. Smeets et al. 'High-density mapping of electrically induced atrial fibrillation in humans'. *Circulation* 1994. 89. p. 1665-1680.

Mandelbrot B.B. *The Fractal Geometry of Nature*, W.H. Freeman and Company, New York 1983.

Ruelle D. and F. Takens. On the nature of turbulence. *Comm. Math. Phys.* 1971. 20. p.167-192.

Schuster H.G. *Deterministic Chaos*. Second revised edition. VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim, 1988.

Takens P. 'Detecting strange attractors in turbulence'. In Rand DA and Young L.S. (Eds), *Dynamical Systems and Turbulence*. Lecture Notes in Mathematics. Vol. 898, Springer-Verlag, Berlin 1981, p. 366.



# Stand van de synergetica en genetica

R.W.L. Zuiderhoudt

## Systembenadering

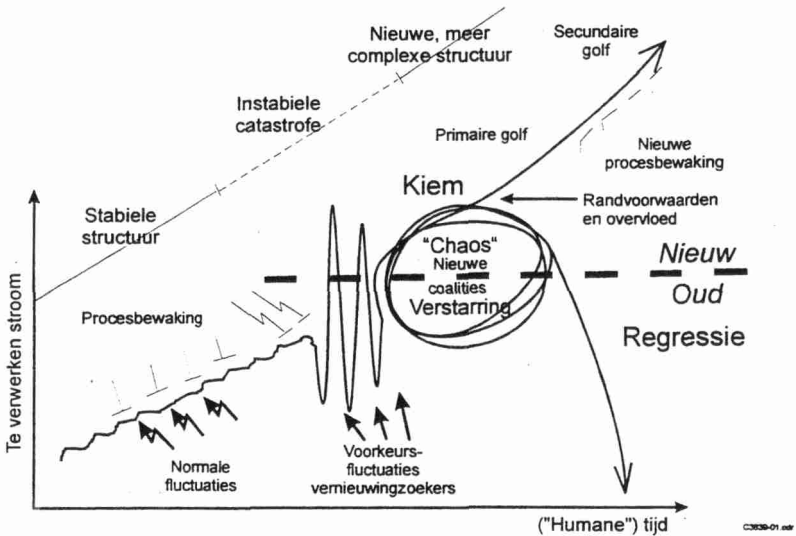
Synergetica en genetica maken gebruik van de systembenadering (*afbeelding 1*) waarin formele modellen uit de wiskunde als logische grondslag dienen voor het door middel van afbeeldingen inzicht verwerven in processen van organisaties. Systemmodellen worden niet gezien als metafoor, maar als homeomorfisme. Zij tonen gelijkvormigheid aan tussen de logische structuur van het model en elementen en aspecten van processen in de werkelijkheid. Daarbij zal alles in het model herkenbaar zijn in de werkelijkheid, maar omgekeerd zal niet alles in de werkelijkheid teruggevonden worden in het model. Het heeft zin om een systemmodel zorgvuldig te bestuderen op de samenhang van al zijn elementen en aspecten alvorens het toe te passen. Dit in tegenstelling tot de metafoor, die eerder voor herkenning en initiatie van nader onderzoek dient, waarbij nadere bestudering van de metafoor zelf evenwel doorgaans geen dieper inzicht oplevert. Integendeel je raakt er eerder van in de war.

De systemmodellen hebben als prettige bijkomstigheid dat ze bij toepassing in ver uiteen gelegen wetenschapsdomeinen altijd dezelfde logische structuur behouden, terwijl er bij de toepassing veel toepassingservaring als het ware aan de kapstok kan worden opgehangen. Zo worden wijd verbreide toepassingservaringen gemakkelijk vergelijkbaar en gemakkelijk toegankelijk voor volgende toepassingen. De systembenadering biedt in wezen een krachtige leermethode.

## Een systeem duidt niet op beheersing

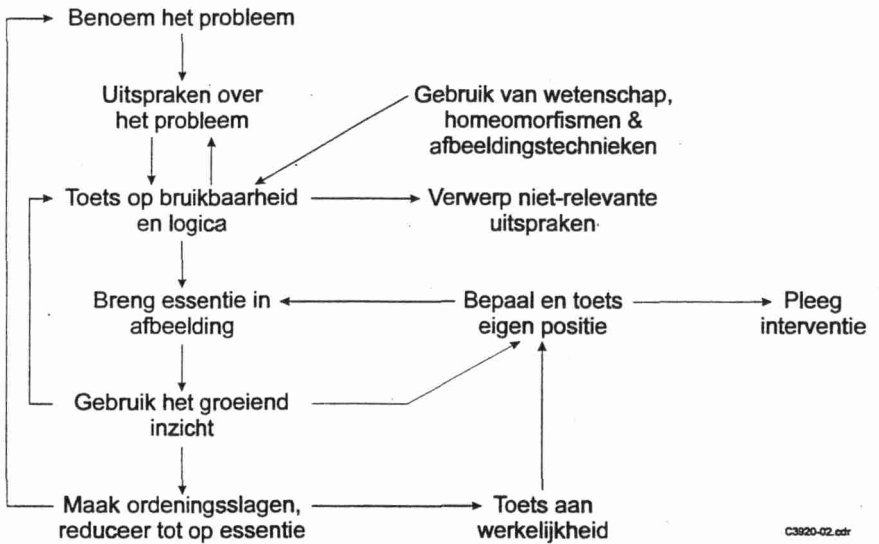
Een hardnekkig misverstand is dat systemen en beheersing zo ongeveer synoniem zouden zijn. De systembenadering kent zowel statische, dyna-





Afbeelding 1

De wisselwerking tussen gedrag en inzicht.



Afbeelding 2

Zelfordening.

mische als cybernetische (beheerskundige) modellen, waarvan de laatste tot voor kort wel de meest ingewikkelde en vruchtbaarste waren, maar er is sinds de jaren zeventig een drastische vooruitgang geboekt op twee aanmerkelijk complexere en voor de organisatiekunde veel meer belovende hogere systeemniveaus: de synergetica (onder andere chaostheorie en zelf-ordering) en de (theoretische) genetica (Stuart Kauffman).

## **Chaostheorie**

De chaostheorie gaf eind jaren zeventig voor het eerst zicht op tot dat moment onbekende verschijnselen. Volkomen gedetermineerde systemen die normaal een geleidelijke, beheerste ontwikkeling in hun gedrag tonen, kunnen bij het overschrijden van een bepaalde parameterwaarde zich opeens complex of zelfs volkomen onvoorspelbaar en dus onbeheersbaar en chaotisch gedragen. Duidelijk werd waarom een beheerskundige (cybernetische) beschouwing van dergelijke complexe systemen (bijvoorbeeld organisaties) tot grote misverstanden kan leiden!

Ilya Prigogine toonde aan dat sommige van deze complexe chaotische systemen, de zogenaamde dissipatieve structuren, zichzelf kunnen ordenen. Een groeiende stroom energie of materie die zich door zo'n dynamische structuur wurmt, maakt daarbij de structuur uiteindelijk instabiel en veroorzaakt eerst paradoxale storingen, dat wil zeggen storingen die eigenlijk niet in de logica van de tot dat moment geldende orde kunnen voorkomen. De aard van deze voorkeursfluctuaties is van groot belang; er wordt al in een vroegtijdig stadium aangegeven welke mogelijke nieuwe ordening de voorkeur heeft, terwijl er eerst nog sprake is van een toenemende chaos (*afbeelding 2*).

Als de structuur voldoende rijk is aan mogelijkheden (redundantie) en de omgeving stelt niet al te enge randvoorwaarden, dan kan in deze chaos als vanzelf de nieuwe meer complexe ordening worden ontdekt; dat ontdekken is zelfordening. Is die mogelijkheid er niet, dan gaat de dynamische structuur onder invloed van de groeiende stroom kapot (regressie). Dat gaat meestal gepaard met de uitstoot van essentiële onderdelen uit de oude ordening. Blijft de structuur in de energieverblindende chaos gevangen, dan spreken we van verstarring.

	BEHEERSING	CHAOS	VERSTARRING
Actie	Doelgerichte activiteit efficiënt en effectief	Toenemende zoekende activiteit	Chaos zonder uitzicht op verandering
Functionaliteit	Systemen zijn nuttig, afspraken hebben zin	Systemen en beheersing werken traager	Niet nakomen van afspraken
Causaliteit	Proportioneel verband tussen actie en reactie	Kleine oorzaken hebben grote gevolgen	Krachtige maatregelen, gering effect
Regels	Regels zijn adequaat	Regels blijken niet adequaat	Oneigenlijk gebruik van regels
Tolerantie	Fouten te overzien door zorgvuldigheid	Ongenuanceerde beheersing	Geen tolerantie, geen respect voor ongewenst experiment
Redenering	Simpele logische redeneringen blijken adequaat	Paradoxen en cirkelredeneringen	Onbalans tussen inhoud en proces
Feiten	Besef van goed of fout	Feiten onder ogen zien	Ontkenning (van chaos), feiten
Opvattingen	Eens over belangrijke punten	Divergente opvattingen	Afhaken, erbij neerleggen
Vragen	Keuze in geval van twijfel	Verschillende antwoorden op cruciale vragen	Geen antwoord op cruciale vragen
Extern beeld	Verantwoording kunnen afleggen	Niemand verantwoordelijk?	Onderhuids gaan
Taal	Logisch, eenduidig, betrekkelijk eenvoudig	Komisch, dubbelzinnig en ludiek	Niet afgemaakt, verhullend en gezeur
Gevoel	Productief	Spannend	Saaï, beklemmend
Instelling	Een doel bereiken	Hoop doet leven	Toenemende angst voor catastrofe
Vraag naar inhoud	Vragen? ... Geen vragen	Waar gaat het naartoe?	Waar zit het op vast?

### Afbeelding 3

Enkele proceskenmerken

## Loslaten van sturing

Het is van essentieel belang om de formele modellen van chaos en zelfordening goed te bestuderen op de daarin afgebeelde dynamiek, omdat alleen langs die weg de essentie kan worden begrepen van verschijnselen die ons wel vertrouwd zijn, maar die nog niet of slecht worden begrepen, zoals:

- het "loslaten" van sturing of beheersing
- het verschil tussen zelfordening en zelfsturing
- de werking van een paradoxale interventie
- de aard van repressief gedrag.

Het meest lastige voor bestuurders en managers (minder lastig voor ondernemers) is het "loslaten" van de sturing, juist op momenten waarop zij die volgens de klassieke bestuurskunde het hardst nodig denken te hebben.

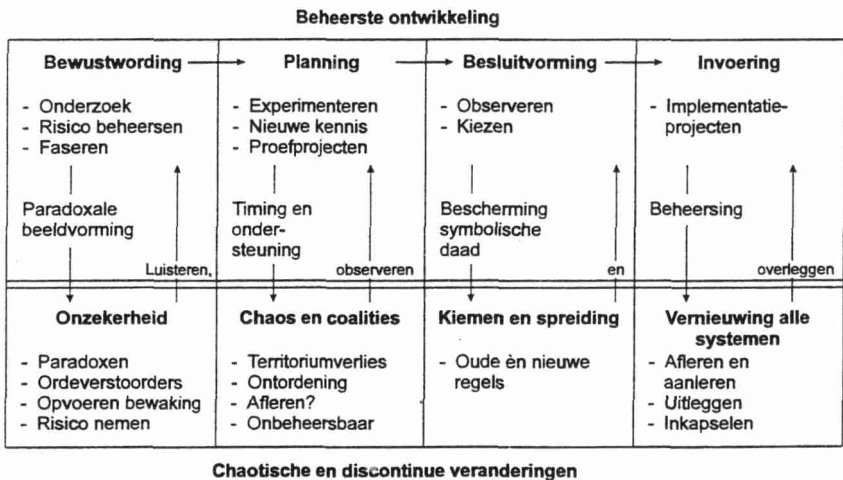
Het gaat er *niet* om chaos te voorkomen door vroegtijdig een keuze te maken en vervolgens goed te sturen. Het gaat er *wél* om, zodra er zich voorkeursfluctuaties en onvoorspelbaarheid en vervolgens chaos voordoen, goed waar te nemen en te zoeken naar de beste oplossing (selecteren), tussen alles wat zich dan als sturend, afwijkend, verboden of onwaarschijnlijk aan ons voor doet, maar *wél* gebeurt!

Wie dan de stuurkundige optie blijft gebruiken, brengt zijn organisatie vroeg of laat in een verstarring. Wie voor de tweede optie "zoeken naar synergie" kiest, creëert althans de kans op langdurige vitaliteit.

## Een verstarring dient zorgvuldig te worden gelokaliseerd

Het waarnemen van de dynamiek van zelfordening in organisaties leidde tot het ontwikkelen en toepassen van een verstarringsdiagnose (*afbeelding 3*). Betrokkenen in de organisatie, die kennisnemen van de inhoud van deze tabel, merken soms op dat al die genoemde toestanden en kenmerken zich allemaal tegelijk voordoen. Die opmerking duidt er dan op dat men nog niet zorgvuldig genoeg beheerste, chaotische en verstarde processen van elkaar weet te onderscheiden.

De zojuist genoemde systeembenadering levert daartoe de noodzakelijke methode en *afbeelding 4* geeft hiervan een specifiek voorbeeld dat zich bij



**Afbeelding 4**

Oriëntatieniveaus ten aanzien van veranderingen.

veel veranderingen in organisaties voordoet. Ergens in de hiërarchie van de organisatie "boven de streep" percipieert het management de verandering als een voorspelbaar en beheersbaar project, terwijl betrokkenen "onder de streep" een chaotische situatie ervaren, waarin hun vooruitzichten uiterst onzeker zijn. Daar "onder de streep" speelt zich de discontinue en chaotische dynamiek van de verandering af, daarboven verandert er niets.

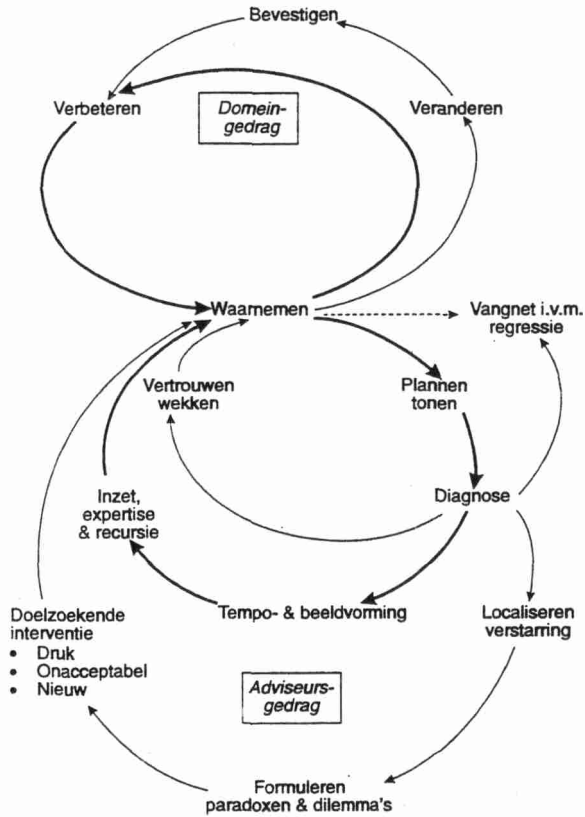
### **Paradoxe interventie met een doorbreker**

Een verstarring is een op den duur "dodelijk" evenwicht tussen oude ordehandhavers en vernieuwingzoekers. Het begrijpen van de dynamiek en het goed lokaliseren van een verstarring in de organisatie maken een interventie mogelijk, waardoor de verstarrende oude orde kan worden doorbroken en de verandering kan worden versneld.

De confrontatie van diegenen die verantwoordelijk zijn voor de oude orde met het paradoxale karakter van de voorkeursfluctuaties doet hun slagvaardigheid in het bewaken van de oude orde afnemen. Daarbij wordt hun reactie vertraagd en ook venijniger en onevenwichtiger. We kennen dat als repressie. Maar op den duur houden ze het niet vol. Zo'n interventie om de verandering te versnellen doet dus pijn; er moet iets afgeleerd en losgelaten worden. Dat vereist van degene die ingrijpt een bepaalde aanpak, waarbij eerst een behoorlijk krediet en enige afhankelijkheid moeten worden opgebouwd om de interventie te mogen plegen en te kunnen doorzetten (*afbeelding 5*).

Paradoxe formuleringen die bij interventies in specifieke situaties worden gebruikt, moeten zorgvuldig worden getoetst en bijgesteld om hun trefzekerheid te bepalen, bijvoorbeeld:

Een installateur kon monteurs, die altijd in tijdnood verkeren, er maar niet toe bewegen om hun materiaalbonnen op tijd in te vullen. Daardoor ging aan het eind van de maand een hoop tijd verloren met het uitzoeken van het materiaalverbruik. Hij kreeg ze "om" met: "Wij hebben alle tijd om de bonnen in te vullen, omdat we later geen tijd hebben om ze nog eens uit te zoeken".



Afbeelding 5

Interventiemodel.

Ondernemers die milieubewust moeten leren ondernemen, vroegen we bijvoorbeeld: "U bent gewend om vooruit te zien. Hoe gaat u straks in een verpest milieu met een tekort aan conventionele hulpbronnen verder met ondernemen?".

In een verkooporganisatie, waar de macht en aansturing van de buitendienst verlegd dienen te worden door overplaatsingen mét vrijheids- en statusverlies naar een goed geïnformateerde binnendienst, werd de volgende metafoor gebruikt: "De directe aandrijving (trappers) aan het grote voorwiel van de ouderwetse velocipede, wordt nu eindelijk eens vervangen door een veel modernere, krachtigere en efficiëntere overbrenging (de informatie) op het achterwiel (de binnendienst)".

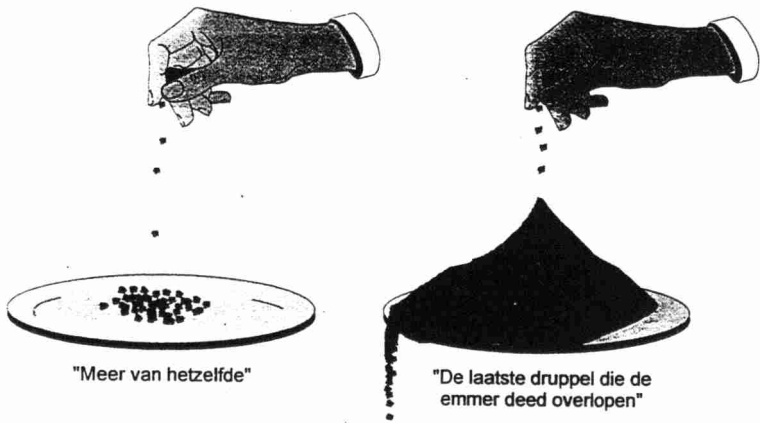
Het formuleren van de paradox voor een paradoxale interventie vereist nogal wat creativiteit en dientengevolge ook nogal wat tijd. Een makkelijker oplossing is de formulering van een doorbreker; deze heeft hetzelfde effect. De doorbreker bestaat uit drie elementen:

1. *Druk*: bewustmaken van de fysiek of kwalitatief groeiende stroom die door de structuur verwerkt moet worden.
2. *Onacceptabel*: verwijzingen naar die opvattingen, gedragingen of werkwijzen die gegeven die groeiende druk in de toekomst onacceptabel zijn.
3. *Suggesties voor nieuw*: als men doordrongen is van de druk en wat onacceptabel is, gaan de meeste mensen al vanzelf aan de slag om naar nieuwe oplossingen te zoeken, maar verkeerd is het niet om daarbij enige suggesties te doen om dat zoekproces te versnellen.

## **Kritische zelfordening en afsterf-lawines**

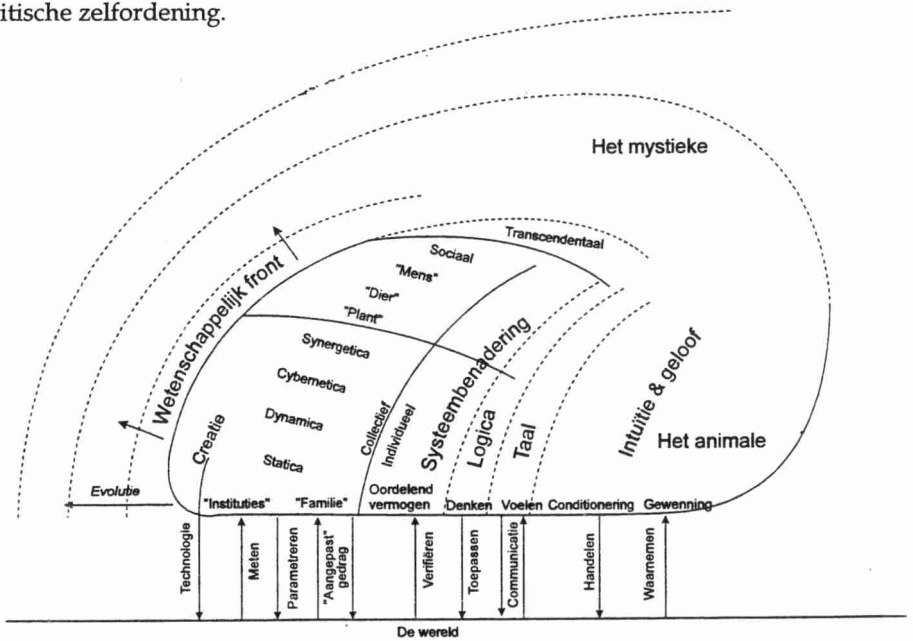
Afwachten tot de voorkeursfluctuaties de juiste kant op bewegen en dan met de doorbreker toeslaan, is zoiets als "het ijzer smeden als het heet is". Die spreekwoordelijke ervaring duidt erop dat het toepassen van de doorbreker niet op elk willekeurig moment wenselijk en mogelijk is. Het model van Per Bak (*afbeelding 6*) voor kritische zelfordening geeft een verklaring. Op een rond schaalteje vallen vanuit eenzelfde punt steeds nieuwe zandkorrels en ze vormen zo een kegelvormig hoopje.





Afbeelding 6

Kritische zelfordening.



Afbeelding 7

Vaardigheden van het leven om zich te ontwikkelen in de wereld.

Eerst moet dit systeem (denk ook aan een mens of organisatie) naar een kritische grens worden gevoerd (tot aan de rand van het schaalte) voordat een interventie (de eerstvolgende zandkorrel) het effect heeft dat een lawine zandkorrels van het schaalte valt. En dan nog is het de vraag wanneer die lawine precies komt en met welke omvang. Binnen zekere grenzen is dit proces praktisch onvoorspelbaar.

Het model van de kritische zelfordening maakt ons duidelijk dat een tot verandering aan te zetten mens of organisatie, voordat hij in chaos en van daaruit tot zelfordening komt, eerst aan de grens van zijn disfunctioneren moet worden gebracht. Alleen dan heeft een interventie enige zin. En dan nog is het vaak hoogst onzeker hoeveel er van de oude orde aan "vergiftigende" opvattingen en energieverslindende processen zal worden afgebroken.

Het is ook onzeker hoeveel zich daarvan even later weer kan herstellen en hoe vaak men daar dus op hetzelfde punt met volgende interventies terug zal moeten komen.

## **De verstarring zit in CAS**

Een relevante vraag is waar de door te breken verstarring en die chaos nu precies zitten. In *afbeelding 7* zijn mogelijke posities in beeld gebracht. Verticaal staan de complete wetenschap en vaardigheden van de mensheid geordend met de systeemhiërarchie van Boulding en horizontaal staat er de hiërarchie van dat ene gigantische Complexe Adaptieve Systeem dat wij met alle levende wezens in de loop van de evolutie hebben opgebouwd (Razran). Van rechts naar links staan daar onze verschillende niveaus van adaptie-systemen of eenvoudiger gezegd onze probleemoplossers, zoals die in de loop van de evolutie zijn ontstaan.

Rechts eerst de verschillende lagen in het leersysteem van het individu: het weefsel waarin gewinningen optreden, het motorische zenuwstelsel (ruggenmerg) waarin conditioneringen worden gevormd, dan het limbisch systeem met zijn associaties en emoties, de hersenschors waarmee we denken en tot slot het oordelend vermogen. Daarmee is de kous nog niet af. Collectief beschikken mensen nog over de probleemoplossers of leersystemen van gesloten groepen als families en dorpsgemeenschappen, waarin iedereen de

OUD	NIEUW
Goed-slechtdiscussies vermijden	Confrontaties oud-nieuw om bedoelingen te verklaren
Elementen van de doorbreker ontkennen	Doorbreker hanteren
(Oude) gelederen sluiten	Gelederen doorbreken
Verschuilen achter het collectief	Nieuwe coalities vormen
Beroep op ervaring, regels en ethiek	Fantaseren over toekomst vanuit nieuw perspectief
Waarschuwen voor risico's	Risico's nemen als uitdaging
"Nieuw" doen we al	"Oud" van "nieuw" onderscheiden
Vertrouwde "spelletjes" spelen	Dilettantisme
Meer van hetzelfde	Experimenten met iets totaal anders

### Afbeelding 8

Omslagindicator.

#### Fases:

Denken

Gedrag

Werken

Processen

Structuur



#### Stand te toetsen aan:

Opvattingen (omslagindicator)

Feiten

(Interne) producten

Procedures

~~Normatief?~~

~~of~~

Bevestigend

### Afbeelding 9

Fases in het veranderingsproces.

"mores" dient te kennen en daarnaast de maatschappelijke instituties met hun onpersoonlijke regels, waartoe de meeste organisaties behoren.

Ergens in één of meer van die leersystemen schuilt de verstarring. Organisatieproblemen veronderstellen we meestal in de instituties én in het denken. Gaat het om niet-adequate processen of regels van cognitieve aard, dan valt een doorbraak nog wel mee, maar gaat het om niet-adequate conditioneringen, dan kunnen we de verstarring het best vergelijken met de verslaving van een kettingroker of alcoholist. Hij weet (denkt en oordeelt) wel dat het geconditioneerde gedrag slecht is, maar dat is nog lang geen aanleiding tot het veranderen van zijn gedrag. Een interventie moet dus precies inspelen op die leersystemen waar de verstarrende "oude orde" in zetelt.

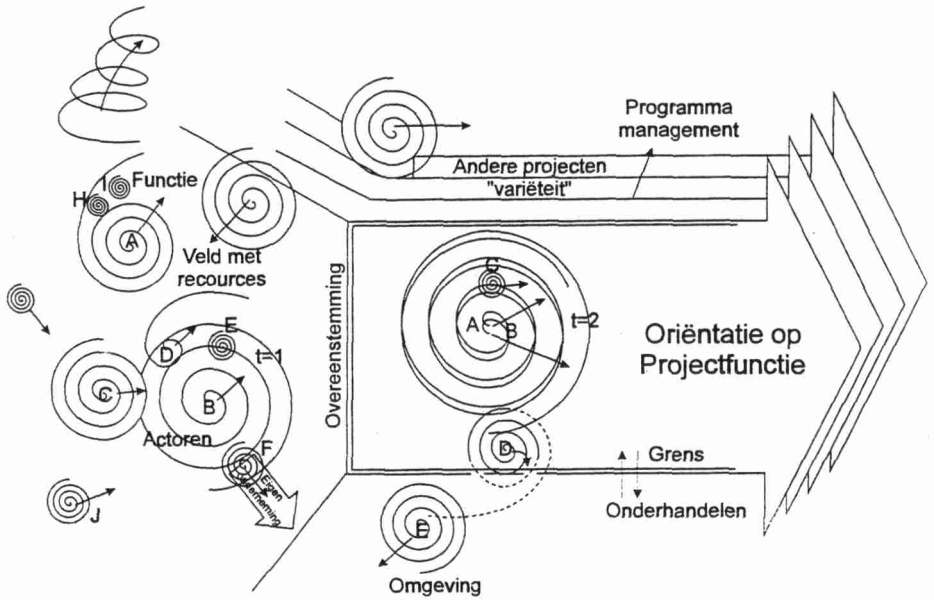
## **Het ontstaan van chaos**

Het juist getimed hanteren van de doorbreker tijdens een situatie van kritische zelfordening brengt een of meer leersystemen van de mens, groep of organisatie in een toestand van chaos. Dat betekent dat een onder de actuele omstandigheden inadequaat deel van de ordening (in de vorm van structuur of processen) wordt afgebroken. Dat gaat meestal niet in één keer. De oude orde heeft nota bene de neiging om zich te herstellen. Er zijn verschillende instrumenten om te volgen hoe dit proces verloopt.

De omslagindicator, waarvan *afbeelding 8* een betrekkelijk willekeurig voorbeeld in algemeen herkenbare formuleringen toont, wordt meestal voor een bepaalde verandering specifiek geformuleerd, zodat betrokken medewerkers (vernieuwingzoekers) bij allerlei gelegenheden (discussies) kunnen nagaan wie er hoever in het doorbraakproces gevorderd zijn en wie waarop vastzitten of terugvallen.

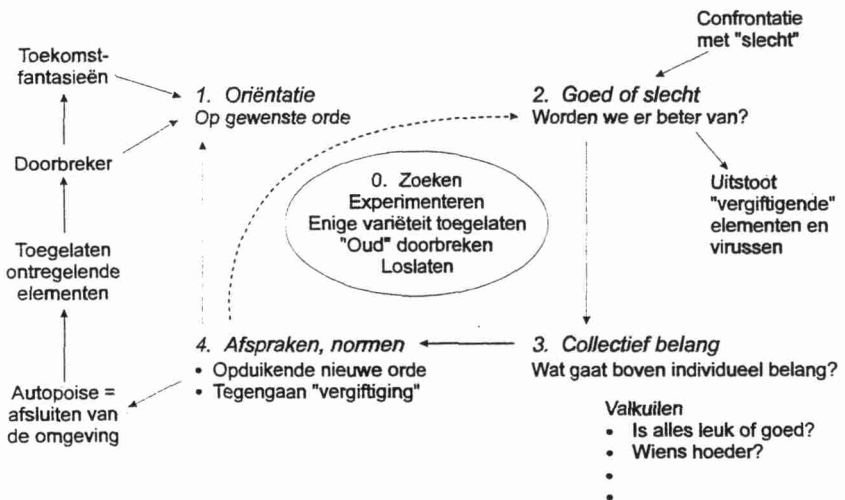
## **Virussen**

Zogenaamde virussen zijn daarnaast inadequate, tijd- en energieverslindende rituelen die men ten tijde van de verstarring met elkaar heeft leren opvoeren en waarmee men de verstarring instandhoudt. Tijdens de doorbraak worden ze voor en door de vernieuwingzoekers herkenbaar en afschrik-



Afbeelding 10

Zoeken naar synergie.



Afbeelding 11

Het vinden van synergie.

wekkend gemaakt door ze elke keer als ze zich voordoen, met een paradoxale typering te benoemen.

Gemakkelijk herkenbaar in bureaucratieën zijn bijvoorbeeld: "het schrijf-veel-maar-lees-niets-virus" of "het denk-niet-na-maar-dender-door-virus", of "het we-mogen-er-weer-niet-uitkomen-virus".

Daar waar sprake is van verstarrende conditioneringen helpt het fasemodel van *afbeelding 9* om aan betrokkenen duidelijk te maken dat het niet voldoende is om van opvattingen te veranderen, maar dat het er eerst om gaat daadwerkelijk ander gedrag te tonen alvorens er ook maar enige kans is dat er werkelijk nieuwe samenwerking met adequate werkwijzen en procedures in de organisatie zullen ontstaan.

## Herkennen van synergie

Synergie is een vorm van samenwerking waarin bijdragen elkaar niet aanvullen, maar overtreffen. Het is een samenwerkingsvorm waarin onder druk van omstandigheden de functies van de individuele partners worden overtroffen doordat zij samen een of meer nieuwe gezamenlijke functies blijken te kunnen vervullen. Bijvoorbeeld: "Ik kan schrijven, jij kunt drukken, alleen samen kunnen we leren boeken uit te geven."

Ter oriëntatie enkele aanwijzingen:

### SYNERGIE IS NIET

Functies sommeren of op elkaar aansluiten en afstemmen  
Compromissen tussen partners sluiten  
Verbeteren van bestaande functies  
  
Anderen beheersen of sturen  
  
Handhaven van wetten en regels  
  
Standpunt bepalen

### SYNERGIE IS WEL

Door integratie totaal nieuwe functies ontdekken  
Overwinningen op de omgeving boeken  
Veranderen door creëren van nieuwe functies  
Vrijheid laten tot het volgen van een mutatiespoor met competitie en selectie  
Doorbreken van niet-adequate wetten en regels  
Mogelijkheden openhouden

**SYNERGIE IS NIET**

Stellen van "maren" en "mitsen"

Uitgaan van het bestaande

Inbouwen van zekerheden en garanties

Laten gebeuren wat je wilt

Begrippen scherp definiëren

Het eens worden

Elkaar aanvullen

Verdelen van schaarse bronnen

Evenwicht zoeken

**SYNERGIE IS WEL**

Exploreren

Toelaten van het onbekende nieuwe

Beschermen van kwetsbare nieuwe orde

Onder meer willen wat er gebeurt

Begrippen herformuleren

Over-één-stemming bereiken

De som van elkaars bijdragen overtreffen

Ontdekken of veroveren van nieuwe bronnen

Blijvende spanning beheerst uitbuiten

## **Het zoeken naar synergie**

Beschouwen we de chaos als een macroscopische eigenschap van de organisatie, dan is het wellicht verbazingwekkend dat er zo'n grote kans op zelf-ordening en het ontstaan van een kiem van nieuwe orde is en zo weinig kans op regressie. Maar op een systeemniveau lager lopen de mensen of losse groeperingen dan ook niet als kippen zonder kop rond, integendeel. De doorbreker betekent voor hen een nieuwe richting of oriëntatie. En nu de oude formule in hun onderlinge samenhang zoek is, zijn zij allen op grond van hun eigen (al dan niet omvangrijke) machtsbasis op zoek naar nieuwe mogelijkheden om zich met die nieuwe oriëntatie te handhaven.

## **Het vinden van synergie**

Kenmerkend voor dit strategisch zoekproces (*afbeelding 10*) is dat zij daar op hun eigen houtje doorgaans niet uitkomen. Ze moeten wel een of andere nieuwe samenwerking vinden. In het algemeen heeft ieder een min of meer uitgesproken idee over wat de anderen zich daarin voor opofferingen voor hem of haar zouden moeten getroosten. Helaas hebben de anderen ook dergelijke, maar tegenstrijdige opvattingen. Men is dus in allerlei open of bedekte spelletjes op zoek naar die partners waarmee men overeenstemming over de nieuwe werkwijze, het nieuwe project of het nieuwe organisatie-onderdeel kan bereiken. De vraag is welke coalitie dit spel als eerste wint. De

anderen hebben het nakijken en worden uitgesloten of ondergeschikt gemaakt aan de nieuwe orde. De nieuwe coalitie werkt op basis van onderling vertrouwen. De noodzakelijke bijdragen van de anderen worden via onderhandeling "ingekocht" of min of meer afgedwongen.

## **Neo-Darwinisme als grondslag onder CAS**

Het theoretische aantal mogelijke toestanden waarin het netwerk van actoren tijdens chaos kan verkeren, is onvoorstelbaar en de kans op spontaan ontstaan van orde lijkt nihil, maar Kauffman heeft dan ook aangetoond dat alleen onder heel enge randvoorwaarden zelfordening (dat wil zeggen creatie) optreedt. Alleen als elke actor in het netwerk reageert op één enkele andere actor (1-input-netwerk) leidt dat tot een ons vertrouwd ordeconcept, dat van de oorzaak-en-gevolgketens en de causale redeneringen (lijnorganisaties en files op de wegen). Helaas zijn die vormen van orde snel verward en theoretisch onveranderbaar! Alleen de 2- (en soms de 3- en 4-) input-netwerken zijn adaptief, dat wil zeggen dat ze hun eigen orde kunnen (laten) verstoren en zich kunnen aanpassen aan veranderende omstandigheden.

Vervolgens toonde hij op theoretische overwegingen aan dat dergelijke zich door middel van zelfordening creërende netwerken in de natuur (bijvoorbeeld macromoleculen) in zekere zin de omgeving vormen waarin zij zelf verder kunnen evolueren. De bouwstenen voor het ontstaan van leven en van organisaties zijn schaars, evenals ruimte en tijd, zodat slechts een uiterst gering deel van alle mogelijke creaties van een generatie in de evolutie worden geprobeerd. De eerste de beste oplossing die na zelfordening wordt ontdekt en levensvatbaar is en zichzelf in haar niche weet te handhaven, kan als uitgangspunt dienen voor de volgende generatie. De meeste andere mogelijkheden komen door de schaarste eenvoudigweg niet aan bod! Ook allerlei tegenstrijdige interne eigenschappen (ontwerpbeperkingen) in de netwerken die zich in evoluties min of meer stabiel kunnen handhaven en verbeteren, vormen in feite een enorme reductie op de mogelijke variëteit. Zo legt de evolutie slechts enkele uiterst smalle en willekeurige paden af in de totale ruimte van haar theoretische mogelijkheden. Kauffman verklaart dat naast Darwins "survival of the fittest" (zelfreproductie, random-mutaties en -selectie) vooral zelfordening van essentieel belang is om de snelheid van de evolutie te verklaren.



## Het ontstaan van orde

De dynamiek van het zoeken naar synergie in de chaos speelt zich zowel binnen als tussen organisaties onderling af op de wijze van zelfordening. Het is creatie, het proces dat voorafgaat aan het ontstaan van projecten of nieuwe organisaties. Ten onrechte wordt door sommige actoren in dit proces (met name de overheid) wel gedacht dat zij dit spel volledig kunnen beheersen; daaruit komen dan enorme stagnaties, zieltogende projecten of zwakke organisaties en complete mislukkingen voort.

Er zijn wel mogelijkheden in deze dynamiek om de andere deelnemers bepaalde spelregels op te dringen of het spel zodanig te faciliteren dat het meer open, sneller en met hogere slaagkans verloopt, bijvoorbeeld door de overeenkomst zo lang mogelijk uit te stellen en ondertussen de actoren zich zo compleet mogelijk met hun plannen én hun opvattingen over andere actoren te laten profileren. Een voorbeeld van een aan anderen op te leggen spelregel is, om in plaats van het gebruikelijke aanbesteden van werk, de concurrerende actoren zich via een openmarktproces te laten inkopen in een overeenkomst met andere actoren en een opdrachtgever.

Ook na de overeenkomst zijn er nog controles mogelijk op het commitment dat is ontstaan door alle deelnemers bijvoorbeeld aan een loyaliteitstest te onderwerpen.

Wie in de chaos het zoeken naar en vinden van synergie op de keper beschouwt, ontdekt dat betrokken partijen meestal meerdere malen een cyclus van zelfordening doorlopen (*afbeelding 11*), waarin zij op grond van hun oriëntatie oordelen vellen over wat in de nieuwe situatie goed is of slecht. Daartoe confronteren zij elkaar met oude of juist nieuwe discutabele opvattingen en worden de giftige opvattingen en virussen uitgestoten. Als ultieme toets geldt daarbij uiteraard niet het individuele maar juist het collectieve belang. Elke keer als in die discussies iets wordt bereikt, worden afspraken gemaakt die voor een volgende ronde normatief of nadere precisering van de oriëntatie zijn. Zo sluit de nieuwe organisatie zich met een set van nieuwe, vaak nauwelijks bewuste maar voor henzelf wel vanzelf sprekende regels van de omgeving af (autopoiese). Het is die set van ongeschreven regels en afspraken die de nieuwe orde niet alleen maakt, maar ook doet handhaven als zij ooit wordt bedreigd of aangevallen.

## **Nieuwe opvattingen over structuur**

Inmiddels heeft iedereen wel die mooie computerplaatjes gezien die gemaakt worden met dezelfde soort formules als die voor chaos en zelfordening, de zogenaamde fractals. Het is ook wel duidelijk dat het geen toeval is dat ze treffende overeenkomsten vertonen met vormen van leven in de natuur.

Bomen, diverse planten, bloedvaten, longen, zenuwstelsels hebben alle een typische "fractale" vorm. Het zijn in wezen enorme uitwisselingsoppervlakken tussen "binnen" en "buiten". Waarschijnlijk hebben ook allerlei levende membranen een fractale structuur en is de grens in het leven tussen binnen en buiten niet scherp te trekken. Zouden deze modellen nieuwe aanwijzingen kunnen opleveren voor het structureren van onze samenleving en het daarin afgrenzen van projecten en organisaties? Zouden we beter kunnen begrijpen hoe zo'n grens de enorme, vergiftigende variëteit buitensluit en welke variëteit met welke dynamiek ze daarbinnen koestert? Er valt met de nieuwe modellen voor het zoeken naar synergie wellicht nog veel meer te ontdekken.

## Literatuur

- Gleick, James. *Chaos, making a new science*. Viking, London 1987.
- Haken, H. *Synergetik*. Springer-Verlag Berlin 1982.
- Hofstadter, Douglas R. *Gödel Escher Bach*. Vintage Books Edition 1980.
- Jantsch, E. *The Self-Organizing Universe, scientific and human implications of the emerging paradigm of evolution*. Pergamon Press, Oxford 1980.
- Kauffman, Stuart A. *The origins of order, self organisation and selection in evolution*. Oxford Univ. Press, Oxford 1993.
- Kauffman, Stuart A. *Eieren, straalmotoren en paddestoelen, zelforganisatie alsde verborgen sleutel tot evolutie*. Uitgeverij Contact, Amsterdam/Antwerpen 1996.
- Lewin, Roger. *Complexiteit, het grensgebied van de chaos*. Contact Amsterdam 1993.
- Maturana, H.R., Varela, F.J. *The tree of knowledge, the biological roots of human understanding*. Shambhala, Boston 1992.
- Prigogine, Ilya en Nicolis, G. *Self Organisation in nonequilibrium Systems*. John Wiley & Sons 1977.
- Razran, G. *Mind in Evolution*. Houghton Mifflin Company, Boston 1971.
- Sapolsky, Harvey M. *The Polaris System Development*. Harvard Univ. Press 1972.
- Thom, R. *Structural Stability and Morphogenesis*. Benjamin, Massachusetts 1975.
- Waldrop, M. Mitchell. *Complexity, the emerging science at the edge of order and chaos*. Viking, London 1993.
- Zeeman, E.C. *Catastrophe theory*. Diverse lezingen 1972 - 1977, Addison-Wesley.
- Zuijderhoudt, R.W.L. 'Synergetica'. M&O, 1985 nr. 2, blz. 116 - 135
- Zuijderhoudt, R.W.L. 'Principes van Synergie en Zelfordening, introductie van de chaostheorie binnen de organisatiekunde'. M&O, 1992 nr. 1, blz. 15 - 40.
- Zuijderhoudt, R.W.L. *Het ontstaan van orde*. ZO - Orgaan van de Nederlandse vereniging voor organisatie in de gezondheidszorg. 1994.

## Personalia

*Prof.dr. F. Verhulst* is hoogleraar Wiskunde met opdracht dynamische systemen aan de Universiteit Utrecht. Hij studeerde wiskunde en sterrenkunde in Amsterdam, werkte in Delft, Utrecht en het Imperial College in London. Hij publiceerde vier boeken en vele artikelen over niet-lineaire dynamische systemen. Verder is hij redacteur van twee Nederlandse boekenseries en van een aantal internationale tijdschriften.

*Dr.ir. J.D. Opsteegh* promoveerde in Waterbouwkunde op de Technische Universiteit Delft. Vanaf 1971 was hij werkzaam op het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI); in 1981 werd hij senior-wetenschapper. In 1980 was hij een jaar werkzaam op het Department of Meteorology van de University of Maryland. Hij haalde in 1982 een Ph.D. in de Meteorologie aan de Universiteit van Utrecht. Hij werd benoemd als Associate Professor aan de Universiteit Utrecht in 1987. In 1989 keerde hij terug naar het KNMI als hoofd van de Afdeling Weer- en Klimaatsvoorspellingen. Hij is tevens werkzaam in diverse (inter)nationale comités, en o.a. lid van het Scientific Advisory Committee van de ECMWF en het Klimaat Comit, van de Koninklijke Nederlandse Wetenschappelijke Academie.

*Dr. C.J. van Dijkum* studeerde wis- en natuurkunde en daarnaast sociale psychologie in Amsterdam. Hij promoveerde in 1988 op een proefschrift met de titel Spelen met Paradoxen. Hij publiceerde daarvoor en daarna boeken en artikelen over actie-onderzoek, methodologie, wetenschapstheorie, computersimulatie en over de chaostheorie. Momenteel is hij werkzaam als docent/onderzoeker bij de vakgroep Methodenleer en Statistiek bij de Sociale Faculteit in Utrecht.

*Prof.dr. T. Bahlmann* studeerde bedrijfseconomie aan de Erasmus Universiteit te Rotterdam. In 1988 promoveerde zij samen met B.A.C. Meesters aan de Katholieke Universiteit Brabant op een proefschrift getiteld *Denken & Doen*, een studie naar ontwikkelingen en strategische heroriëntatie van zes Nederlandse ondernemingen rond een crisis. Recent kwam hun nieuwe boek uit in samenwerking met H.E.W. Nunnink, getiteld *De organisatie die nooit bestond*. Een zoektocht naar vormen van organisatie.

Zij is parttime hoogleraar bedrijfseconomie aan de Universiteit van Utrecht. Daarnaast vervult zij een aantal bestuursfuncties en commissariaten en is werkzaam als organisatie-adviseur.

Zij heeft een groot aantal publicaties op haar naam staan op het gebied van financiering van de onderneming, organisatieleren en organisatieverandering.

*Dr. J. de Goede* is als UHD verbonden aan de afdeling Fysiologie van de faculteit der Geneeskunde van de Universiteit van Leiden. Hij houdt zich bezig met de mathematische theorie van dynamische systemen en de toepassingen ervan op epilepsie en boezemfibrilleren. Hij publiceerde samen met anderen: *Testing the order of discrete Markov chains using surrogate data*; *Nonlinear analysis of the pharmacological conversion of sustained atrial fibrillation in conscious goats by the class Ic drug cibenzoline*; *Detecting differences between delay vector distributions en Reversibility as a criterion for discriminating time series*.

*Ing. R.W.L. Zuiderhoudt* studeerde HTS-Bouwkunde te Amsterdam en organisatiekunde te Utrecht. Sinds 1962 is hij in dienst bij Berenschot te Utrecht als adviseur. Aanvankelijk assisteerde hij bij grote industriële investerings- en nieuwbouwprojecten. Hij voerde haalbaarheidsstudies uit en begeleidde de realisatie ervan. In de jaren zeventig volgden doorlichtingen, saneringen en productiviteitsverbeteringen in tal van bedrijven en bedrijfstakken. Vanaf begin jaren tachtig wordt hij vooral betrokken bij grote projecten in de sfeer van innovatie, productontwikkeling, kwaliteitsmanagement en organisatieverandering in het algemeen. Hij publiceert regelmatig op het gebied van chaos, zelfordening en het zoeken naar synergie.