

Discussietekst

Alternatieve visies op de werkelijkheid

Auteur: Hubert Van Belle

10/10/2012 | 23/05/2013 | 31/05/2013 | 12/07/2014 | 01/10/2020

"It is one of the great realizations of Immanuel Kant that the setting up of a real external world would be senseless without this comprehensibility."

Albert Einstein over het mysterie van de begrijpbaarheid van de wereld.

Het denken in de exacte wetenschappen wordt gedomineerd door een micro-reductionistische visie op de werkelijkheid. Veel natuurwetenschappers zijn er van overtuigd dat ze uiteindelijk in staat zullen zijn om ook de theorieën uit de menswetenschappen te verklaren. De fysicalistische opvattingen waarop ze zich baseren worden echter nog sterk betwist. In de discussies speelt het emergentiebegrip een grote rol. Het nieuwe dat tijdens het evolutieproces opduikt, mogen we immers niet uit het oog verliezen. Bovendien mag de mens, de intelligente observator die deel uitmaakt van de wereld, niet weggedacht worden. In deze tekst gaan we in op alternatieve visies die rekening houden met deze fundamentele kritiek. We zoeken tevens naar een denkkader dat ons dichter bij de diepere aard van werkelijkheid zou kunnen brengen.

1. Het hinderlijk emergentieprobleem

Ieder mens heeft een beeld van de werkelijkheid.¹ Dit beeld speelde een grote rol in het succes van de menselijke soort in zijn strijd op overleven. Door ervaring, opvoeding en opleiding ontwikkelt een kind een beeld van de buitenwereld, van zichzelf en van zijn relaties met de omgeving. Het leert wat kan en wat onmogelijk is, wat het aangenaam vindt en wat pijnlijk, wat beloond en wat gestraft wordt, en dit dikwijls door scha en schande. Een kind weet snel dat het zijn omgeving kan manipuleren en exploreren. Het ontdekt daarbij niet alleen nieuwe mogelijkheden maar botst ook op beperkingen, regels en wetten. Het beeld van de werkelijkheid evolueert naarmate een mens ouder wordt en zijn horizon verschuift. Zeker in de huidige tijd ontvangt iedereen een massa aan informatie over de gebeurtenissen in een geglobaliseerde wereld. Ook de vloedgolf van door de wetenschap verworven kennis leidt tot nieuwe inzichten. Het bestaande beeld van de werkelijkheid blijkt immers niet altijd even betrouwbaar meer te zijn en moet aangepast worden. Bovendien tracht de mens een antwoord te vinden op de zingevingsvragen.

De wetenschappen ontwikkelen ook beelden of modellen van de werkelijkheid.² Zeker in de exacte wetenschappen beperken de onderzoekers zich niet tot het beschrijven van de veelheid van dingen en verschijnselen maar zoeken ze vooral naar terugkerende patronen die als wetten kunnen worden beschouwd. De ontdekte wetmatigheden laten voorspellingen toe en maken het mogelijk om doelgericht in de werkelijkheid in te grijpen. Ieder van de wetenschappen belicht een deel of een

¹ Indien we over de werkelijkheid spreken hebben we het over al het bestaande, alles wat is.

² In de exacte wetenschappen vervangt een model het eigenlijke onderzoeksobject. Voorbeelden zijn wiskundige modellen, grafische modellen en schaalmodellen. Modellen zijn onder meer gemakkelijker, goedkoper of veiliger te bestuderen dan het beschouwde deel en aspect van de werkelijkheid.

aspect van de werkelijkheid en wordt zo gespecialiseerd dat ze nog moeilijk toegankelijk is voor buitenstaanders. De wetenschappelijke theorieën zijn niet alle geïntegreerd en de wetenschap vormt geen volledig samenhangend geheel. Het is echter de grote droom van de voorstanders van het reductionistisch project van de wetenschap om de verschillende wetenschappen aan elkaar te koppelen en tot een fundamentele theorie te herleiden. In de micro-reductionistische visie op de werkelijkheid zou men met behulp van de kwantummechanica of eventueel de snaartheorie ('string theory') en membraantheorie ('M-theory')³ alles moeten kunnen verklaren. De wiskunde speelt daarbij een belangrijke rol. Eugene Wigner had het over "De onredelijke effectiviteit van de wiskunde in de natuurwetenschappen".⁴

De wiskunde wordt in de wetenschappelijke wereld niet alleen gebruikt als bron van succesvolle modellen, ze staat ook model voor het structureren van wetenschappelijke theorieën. De verschillende takken van de wiskunde worden axiomatisch opgebouwd. Men vertrekt van een beperkt aantal axioma's en leidt daaruit alle stellingen af. Een mooi voorbeeld hiervan is de Euclidische meetkunde die onder meer op het parallelaxioma steunt. De 'moderne' wiskunde gaat nog verder en tracht alle takken van de wiskunde op de verzamelingenleer te funderen. In de reductionistische visie op de werkelijkheid wil men in feite ook een aantal uitspraken vinden die als axioma's kunnen fungeren en waartoe alle andere geldige uitspraken kunnen worden herleid. De 'micro-reductionisten' passen een analytische benadering toe.⁵ Ze zoeken hun axioma's op het subatomaire niveau en trachten de stellingen die voor de hogere organisatieniveaus gelden eruit af te leiden. Tevens zijn ze er van overtuigd dat het op deze manier mogelijk is om de verschillende takken van de wetenschap tot een geheel te integreren.

Een dergelijke benadering leidt tot een gelaagd beeld van de werkelijkheid. De wetenschappen worden hiërarchisch gestructureerd en men kan lagen onderkennen. Na de subatomaire basislaag volgen bijvoorbeeld fysische, biologische, psychocognitieve, sociale en culturele lagen. De wetenschappen die tot deze lagen behoren worden opeenvolgend gekenmerkt door het beschrijven van de werkelijkheid in termen van waarschijnlijkheid, deterministische wetten en vage regels. Aan deze lagen kunnen we een ontologisch statuut toekennen en als een bestaand iets beschouwen.⁶ We spreken dan van een gelaagde werkelijkheid. Ook zijn er andere mogelijkheden om de lagen in te delen. Een bekend voorbeeld is de driewereldentheorie van Karl Popper.⁷

In een micro-reductionistische visie op de werkelijkheid neemt men aan dat de eigenschappen van een hogere laag uit de karakteristieken van een lagere laag kunnen worden afgeleid en dat de lagere lagen de hogere lagen verklaren. Soms heeft men het dan over opwaartse causaliteit ('upward causation'). De 'hogere' mentale lagen van de werkelijkheid worden door de 'lagere' materiële lagen bepaald. Het micro-reductionisme sluit dan ook aan bij materialistische en fysicalistische opvattingen. Het zuiver materialisme en fysicalisme worden echter nog niet algemeen aanvaard. Er zijn ook andere reductionistische visies mogelijk.

³ De snaartheorie en de membraantheorie worden gezien als een belangrijke kandidaat voor de 'theorie van alles' of 'Theory of Everything' (ToE) die alle fysische fenomenen kan verklaren. Zie:

http://en.wikipedia.org/wiki/Theory_of_everything

⁴ "The Unreasonable Effectiveness of Mathematics in the Natural Science". Zie: <http://www.physik.uni-wuerzburg.de/fileadmin/tp3/QM/wigner.pdf>

⁵ In de analytische methode lost men een complex en moeilijk probleem op door het in eenvoudiger deelproblemen op te splitsen die gemakkelijker op te lossen zijn.

⁶ Dit is bijvoorbeeld eveneens het geval wanneer we 'informatie' als een zijnde zien.

⁷ André de Vries, *De Emergentie en evolutie van Drie Werelden. Tweede Revisie van Poppers*

Driewereldentheorie, Rijksuniversiteit Groningen, 2009. Zie: <http://www.filosofischbureau.nl/files/devries.pdf>

Hoewel het micro-reductionisme zeer succesvol blijkt in een aantal domeinen groeien er toch vragen over de haalbaarheid van dit reductionistisch project. Tijdens de evolutie doken er immers wezens en verschijnselen op met nieuwe eigenschappen en wetten die (tot nu toe) niet volledig tot elementaire deeltjes en fundamentele wetten te herleiden zijn. Er wordt in deze gevallen gesteld dat een geheel meer (of anders) is dan de som van zijn delen. Het gedrag van complexe systemen blijkt niet steeds voorspelbaar, zelfs indien de elementen en hun interacties gekend en deterministisch van aard zijn. Om dit probleem te benoemen werd het begrip 'emergentie' ingevoerd. Met micro-reductionistische benaderingen alleen is men niet in staat om emergent gedrag af te leiden en volledig te bepalen. Er is nood aan bijkomende beperkingen ('constraints') of principes. Meestal doet men een beroep op 'neerwaartse oorzakelijkheid' ('downward causation'). Paul Davies stelde dat de organiserende principes die nodig zijn als aanvulling op de natuurkundige wetten waarschijnlijk verwacht kunnen worden vanuit nieuwe benaderingen van onderzoek en nieuwe manieren om naar de complexe werkelijkheid te kijken.⁸ Emergentie is echter nog steeds niet algemeen aanvaard.

Het ontstaan van het leven en van het bewustzijn worden als voorbeelden van emergentie beschouwd. De discussie over emergentie wordt zeer dikwijls rond de geest-lichaam ('mind-body') problematiek gevoerd. Is het bewustzijn bijvoorbeeld herleidbaar tot het fysico-chemisch proces van de hersencellen en verklaart dit proces bijgevolg het bewustzijn? Of anders gesteld, bepaalt het gedrag en de interactie van de hersencellen het bewustzijn volledig? Volgens de 'emergentisten' is dit niet het geval. De kennis van de hersencellen volstaat niet om het bewustzijn te verklaren. Het emergentisme is echter nog altijd zeer betwist. Zeker in de exacte wetenschappen zijn de fysicalistische opvattingen nog steeds dominant. Dit is ook het geval in bepaalde filosofische kringen.

In '*Nieuwheid denken*'⁹ zijn we uitgebreid op de reductie- en emergentieproblematiek ingegaan. We hebben emergentie in verband gebracht met symmetriebrekingen, nieuwheid en creativiteit. De evolutie wordt beschouwd als een creatief proces met een opeenvolging van symmetriebrekingen die tot een waaier van nieuwe structuren en gedragspatronen leiden. Ook hebben we ons de vraag gesteld of emergentie wel wezenlijk bestaat of alleen op een (tijdelijk) kennisprobleem wijst. Zal het ooit mogelijk zijn om het gedrag van complexe gehelen uit de eigenschappen van hun delen en interacties af te leiden? Er bestaan indicaties dat dit niet het geval is en dat een micro-reductionistisch gestructureerde wetenschap nooit in staat zal zijn om een sluitende verklaring te vinden voor het ontstaan en functioneren van niet-lineaire systemen zoals complexe structuren, organismen, levende wezens en organisaties. Men baseert zich daarbij onder andere op de onvolledigheidstelling van Gödel. Stephen Hawking verwachtte dat de M-theorie (een uitbreiding van de snaartheorie) de 'ultieme' theorie voor het universum zou worden. Hij heeft die mening echter herzien en betwijfelt of een dergelijke ultieme theorie wel met een beperkt aantal uitspraken geformuleerd kan worden.¹⁰

Het micro-reductionisme blijkt op zijn grenzen te botsen. De pogingen om de wetenschappen tot een samenhangende en hiërarchisch gestructureerde wetenschap te verenigen lijken tot mislukken

⁸ Paul Davies, *De blauwdruk van de kosmos. Het scheppend vermogen van de natuur bij de ordening van het heelal*, Amsterdam, Contact, 1991, p. 228.

⁹ Hubert Van Belle en Jan Van der Veken (red.), *Nieuwheid denken. De wetenschappen en het creatieve aspect van de werkelijkheid*, Leuven / Voorburg, Acco, 2008.

¹⁰ *Up to now, most people have implicitly assumed that there is an ultimate theory that we will eventually discover. Indeed, I myself have suggested we might find it quite soon. However, M-theory has made me wonder if this is true. Maybe it is not possible to formulate the theory of the universe in a finite number of statements. This is very reminiscent of Gödel's theorem. This says that any finite system of axioms is not sufficient to prove every result in mathematics. (...) Some people will be very disappointed if there is not an ultimate theory that can be formulated as a finite number of principles. I used to belong to that camp, but I have changed my mind. I'm now glad that our search for understanding will never come to an end, and that we will always have the challenge of new discovery.* Zie: <http://www.hawking.org.uk/index.php/lectures/91>.

gedoemd te zijn. Het reductionisme houdt eigenlijk een informatiecomprimerende operatie in. Het is utopisch om te verwachten dat het micro-reductionistisch project bijvoorbeeld tot één fundamentele wet zal leiden die de werkelijkheid volledig kan verklaren. Emergentie maakt dit onmogelijk. Er stelt zich niet alleen een emergentieprobleem, de wetenschappers jagen ook op een bewegend doel ('moving target'). Iedere oplossing roept nieuwe problemen op. De wetenschappelijke kennis neemt in snel tempo toe en de wetenschap is voortdurend in evolutie. De theorieën die als fundamentele theorie in aanmerking komen zoals de snaartheorie worden ook steeds abstracter en moeilijker begrijpbaar. Kunnen de integratiepogingen de explosieve ontwikkeling van (super-)gespecialiseerde wetenschappen wel bijhouden? Zullen we het moeten blijven doen met een gefragmenteerde wetenschap? De werkelijkheid is misschien zo dat een volledige unificatie onmogelijk is en de eenheid van kennis een droombeeld blijft.

De wetenschap ziet er nu uit als een gekleurde lappendeken dat slecht genaaid is. De werkelijkheid wordt door de verschillende wetenschappen vanuit uiteenlopende gezichtspunten bestudeerd. Men is er slechts gedeeltelijk in geslaagd om alle wetenschappen met elkaar in verband te brengen. Met integratie- en unificatiepogingen hoopt men de wetenschap tot een samenhangend en gestructureerd geheel te smeden. Er bestaan verschillende visies over hoe dit kan gebeuren. Is het mogelijk om deze, soms zelfs tegenstrijdige visies met elkaar te verzoenen? Kunnen we een denkkader vinden dat een antwoord biedt op de versplintering van de wetenschap en het emergentieprobleem? Indien dit het geval is hopen we dat dit tot nieuwe inzichten over de diepere aard van de werkelijkheid zal leiden.

2. Uiteenlopende visies

Wetenschap is een virtueel bouwwerk waar voortdurend aan verbouwd en bijgebouwd wordt en dat nooit helemaal af zal geraken. Het dient een betrouwbare afspiegeling van de werkelijkheid te zijn. Het gebouw telt vele kamers die niet alle intern met elkaar verbonden zijn en is onoverzichtelijk voor bezoekers. Het groeide historisch en werd zonder een vooraf opgemaakt plan gebouwd. Eigenlijk is het aan een grondige renovatie toe en misschien is een nieuwbouw zelfs te verkiezen. De architecten hebben echter uiteenlopende visies op de indeling van het nieuwe gebouw en de stijl waarin het moet worden opgetrokken. Vooral de keuze van fundering is daarbij een discussiepunt.

Bij de studie van de werkelijkheid worden een aantal algemene kenmerken¹¹ opgemerkt en in meer of mindere mate belicht. We kunnen daarbij een aantal tegenstellingen onderkennen zoals:

- orde of chaos;
- eenvoud of complexiteit;
- uniformiteit of diversiteit;
- het repetitieve of eenmalige (unieke);
- het deterministische of stochastische (toeval, waarschijnlijkheid);
- causaliteit (oorzakelijkheid, oorzaak en gevolg) of finaliteit (teleologie, doelgerichtheid);
- lokale of globale symmetrieën (invarianten);
- symmetrieën of symmetriebrekingen (verbroken symmetrieën, asymmetrieën);
- wetten of uitkomsten ('outcomes');
- reversibiliteit of onomkeerbaarheid;
- statisch of dynamisch gedrag;
- evenwicht of onevenwicht;
- stabiliteit of onstabiliteit;

¹¹ Deze algemene kenmerken maken het mogelijk om de werkelijkheid te typeren. Ze laten ook toe om de problemen die de bestaande structuren, verschijnselen, processen, gedragingen en relaties oproepen te klasseren en eventueel samen op te lossen.

- onveranderlijkheid of evolutie;
- de constructieve of destructieve trends in het evolutieproces.

De wetenschappers kiezen een combinatie van deze karakteristieken als uitgangspunt bij het ontwikkelen van hun theorieën. Dit leidt noodgedwongen tot een vereenvoudigd en geïdealiseerd beeld van de werkelijkheid. Een geünificeerde wetenschap zou alle kenmerken van de werkelijkheid moeten kunnen omvatten.

Welke van de opgesomde karakteristieken de ware aard van de werkelijkheid weergeeft is niet altijd even duidelijk. De wet van Snellius of brekingswet kan bijvoorbeeld niet alleen als een causaal verband tussen de invalshoeken en brekingsindexen (of lichtsnelheden) geformuleerd worden maar ook als een extremaalprincipe, het streven naar een minimum of maximum. Het licht legt immers de weg tussen twee punten in de kortste tijd af en zoekt dus de snelste weg.¹² Extremaalprincipes drukken een vorm van doelgerichtheid uit. Toeval en waarschijnlijkheid spelen een grote rol in de evolutietheorie en de kwantummechanica. We kunnen ons afvragen of er toch geen onderliggende deterministische wetten bestaan die de stochastische kenmerken kunnen verklaren. Albert Einstein had het zeer moeilijk met de waarschijnlijkheidsinterpretatie van de kwantummechanica door Niels Bohr. Einstein zocht naar verborgen veranderlijken en stelde dat God niet met dobbelstenen speelde.¹³

Symmetrieën of invarianten spelen een belangrijke rol in de wetenschap. We ontdekken ze bijvoorbeeld in behoudswetten zoals wet van behoud van energie. Symmetrieën zijn transformaties die een entiteit (een ding) in bepaalde opzichten onveranderd laten. Een bol is geometrisch invariant voor een rotatie om elk van zijn mogelijke assen. Ook kristallen vertonen verschillende vormen van symmetrie. Men kan invarianties voor onder andere translatie, rotatie, spiegeling en inversie onderscheiden. Symmetrieën vormen een loper ('passe-partout') van de wetenschap tot de werkelijkheid. De wetenschappers zijn op zoek naar 'dingen' die spijs veranderingen toch onveranderd blijven. Symmetrieën komen in de natuur in tal van onvermoede en abstracte vormen voor. Niet alleen objecten maar ook verschijnselen kunnen symmetrieën vertonen. De beweging van een ideale slinger is bijvoorbeeld invariant voor een tijdsverschuiving over een of meer periodes.

Emmy Noether toonde aan dat er een verband bestaat tussen symmetrieën en de behoudswetten.¹⁴ Uit de eis tot invariantie van de wetten van de mechanica voor de plaats van de meting, de oriëntatie van de meettoestellen en het tijdstip van het experiment kon ze het behoud van hoeveelheid beweging (voor translatie en rotatie) en het behoud van energie afleiden. Symmetriebeschouwingen hebben een grote rol gespeeld in de ontwikkeling van het standaardmodel van de deeltjesfysica.¹⁵ De zoektocht naar nieuwe elementaire deeltjes zoals het Higgs-boson is gebaseerd op voorspellingen van dit standaardmodel. Volgens Laurent Nottale zou men de voornaamste axioma's van de kwantummechanica kunnen afleiden uit de invariantie t.o.v. de (ruimte-tijd) resolutie van de meetapparatuur.¹⁶ Hij heeft het ook over 'scale relativity' ('schaalrelativiteit') en past dit concept toe op biologische systemen en bij de ontwikkeling van een 'integrative systems biology'.¹⁷ Deze

¹² Het principe van Fermat. Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/Fermat%27s_principle

¹³ "*I, at any rate, am convinced that He [God] does not throw dice*". Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/Bohr%E2%80%93Einstein_debates

¹⁴ Zie: http://nl.wikipedia.org/wiki/Stelling_van_Noether

¹⁵ Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/Standard_Model

¹⁶ Zie: <http://aristote.biophy.jussieu.fr/~luthier/nottale/arCSF94.pdf>

¹⁷ Zie: <http://users.skynet.be/bk320440/Auffray-Nottale-PBMB-corr.pdf> en <http://users.skynet.be/bk320440/Nottale-Auffray-PBMB-corr.pdf>

voorbeelden maken het duidelijk dat de zoektocht naar symmetrieën en invarianten zeer belangrijk is voor de ontwikkeling en integratie van de wetenschappen.¹⁸

In de reële wereld zijn perfecte symmetrieën zeldzaam. Zelfs kristallen vertonen een zekere asymmetrie. Veel verschijnselen en processen zijn niet invariant voor een tijdsomkering. Wordt de film van een rokende schoorsteen teruggespoeld dan zien we een verschijnsel dat niet in de werkelijkheid voorkomt. Een ander voorbeeld van onomkeerbaarheid is de vaststelling dat de warmte onmogelijk van een warmer naar een kouder lichaam kan stromen. Dit wordt uitgedrukt door de tweede hoofdwet van de thermodynamica, de entropiewet. In deze visie wordt de evolutie beschouwd als een proces dat bij de oerknal (Big Bang) vanuit een volledige symmetrie start en dat door een reeks van opeenvolgende symmetriebrekingen tot lokale symmetrieën leidt.

Symmetrieën kunnen in verband gebracht worden met wetmatigheden, in ruimte en tijd terugkerende patronen, en symmetriebrekingen met nieuwheid en creativiteit. Volgens John D. Barrow kunnen we de natuurwetten zelf niet met onze zintuigen observeren maar wel hun uitkomsten. Deze vaststelling zou de complexiteit van de natuur verzoenen met de eenvoud van de wetten.¹⁹ Symmetrieën en symmetriebrekingen doen wat denken aan de 'Bolero van Ravel': een steeds terugkerend thema dat met een gewijzigde orkestratie in crescendo herhaald wordt.

Ook bij de methodes voor het beschrijven van de werkelijkheid komen verschillende tegenstellingen en ermee overeenkomende visies en benaderingen aan bod. Voorbeelden zijn:

- specialistisch of holistisch;
- specialisatie of unificatie;
- deel- of aspectbenaderingen;
- micro- of macrovisies;
- hoe dingen werken of hoe ze ontstaan zijn;
- predictie (voorspelling) of retrodictie ('predictie' van het verleden);
- analyse of synthese;
- 'bottom-up' (micro-reductionistische) of 'top-down' (synthetische) benaderingen;
- verklaren of begrijpbaar maken;
- kwalitatieve of kwantitatieve benaderingen;
- narratief (verhalend) of wiskundig (wiskundige modellen);
- vectoriële of variationele (extremale, mini-max) benaderingen;
- geldigheid (bruikbaarheid) of waarheid (juistheid, echtheid, in werkelijkheid)²⁰;
- modellen of wetten;
- ontologische of epistemologische visies;
- existentie (het er zijn) en essentie (het wezenlijke, de aard van de dingen).

¹⁸ Sommigen beschouwen symmetrieën als "de handtekening van God".

¹⁹ "*Most of things that we see are not symmetrical and do not behave in accord to some simple law of nature. Somehow the breathless world that we witness seems far removed from the timeless laws of Nature which govern the elementary particles and forces of Nature. The reason is clear. We do not observe the laws of Nature: we observe their outcomes. Since these laws find their most efficient representation as mathematical equations, we might say that we see only the solutions of those equations not the equations themselves. This is the secret which reconciles the complexity observed in Nature with the advertised simplicity of her laws.*" Zie: John D. Barrow, *New theories of everything: the quest for ultimate explanation*, Oxford University Press, 2007, p. 138.

²⁰ Geldigheid wordt in deze tekst in een instrumentalistische betekenis gebruikt om de bruikbaarheid van modellen aan te geven. Modellen kunnen praktisch bruikbaar zijn zonder dat ze met de ware aard van de werkelijkheid overeenstemmen. Indien we er van overtuigd zijn dat bepaalde modellen de realiteit echt weergeven dan mogen ze als wetten bestempeld worden.

Merk op dat we zoals Kant in zijn *Kritik der Urteilskraft* een onderscheid maken tussen verklaren en begrijpen. Denk hierbij bijvoorbeeld aan de bloedsomloop of een voertuig. Om de werking van een dergelijk systeem uit te leggen kan men een beroep doen op een verklaring. Een verklaring geeft een inzicht in het functioneren van het systeem en verwijst daartoe naar de delen, hun eigenschappen en interacties. Het gaat dus om een micro-reductionistische redenering. Men kan het gedrag van een systeem echter niet volledig begrijpen zonder het te hebben over waartoe het systeem dient. Bij het begrijpbaar maken van een systeem redeneert men in termen van functie en doel.

We maken ook een onderscheid tussen modellen en wetten. We gebruiken het modelbegrip in de betekenis van de ingenieurswetenschappen. Een model zoals bijvoorbeeld een wiskundig model, geeft een beeld van de werkelijkheid dat bruikbaar is. Deze weergave van de realiteit schijnt correct maar is niet noodzakelijk volledig waarheidsgetrouw.²¹ Een wet is een model dat een speciaal statuut kreeg. Een wet dient aan voorwaarden te voldoen van algemene geldigheid, betrouwbaarheid, dimensionele homogeniteit en 'esthetische' vorm. Indien hieraan voldaan is kunnen we een model als waar beschouwen en als wet betitelen. Als we over modellen spreken dan hebben we het doorgaans over geldigheid en niet over waarheid.²²

Ontologie is een tak van de filosofie waarin vragen gesteld worden over de 'zijnden', de bestaande dingen, en het zijn van al wat is. Epistemologie richt zich op de kennis over de werkelijkheid. We kunnen een onderscheid maken tussen een ontologische, echte of sterke vorm van emergentie en een epistemologische of zwakke vorm. Emergentie is het gevolg van de interactie tussen elementen van een geheel. In zijn sterke vorm wordt emergentie beschouwd als iets bestaands. Zelfs met volledige informatie over de eigenschappen van de elementen en hun interacties is het onmogelijk om het gedrag van het geheel af te leiden en te voorspellen. Dat het geheel meer (of anders) is dan de som van zijn delen vormt in dit geval een fundamenteel en principieel onoplosbaar probleem voor het micro-reductionisme. Indien een zwakke vorm van emergentie aangenomen wordt gaat men er van uit dat er geen fundamenteel probleem bestaat. In de huidige stand van de wetenschap ontbreekt er nog kennis om emergent gedrag af te leiden en te voorspellen. Deze leemte zal echter door nieuwe wetenschappelijke ontdekkingen ingevuld worden.

Reductionisten wijzen de sterke vorm van emergentie principieel af. Ze aanvaarden in feite wel de zwakke vorm. Emergentie wordt door hen gezien als een tijdelijk kennisprobleem dat ooit wel zal opgelost worden. Voor zover we weten bestaat er in de fysica geen algemeen bewijs van de sterke vorm van emergentie.²³ Zoals we reeds opmerkten zijn er wel sterke indicaties voor het opduiken van echte nieuwheid tijdens het evolutieproces. De studie van niet-lineaire systemen en van symmetriebrekingen leidt tot argumenten om te stellen dat het kennisprobleem nooit volledig zal kunnen worden opgelost. Een algemeen bewijs van de sterke vorm van emergentie lijkt ons niet principieel onmogelijk. In de literatuur zijn immers een aantal bewijzen voor bijzondere gevallen te vinden.

Emergentie wijst op een zwak punt in de micro-reductionistische visie op de werkelijkheid. Indien we emergentie aanvaarden, nemen we aan dat de micro-reductionistische visie nog onbepaaldheden inhoudt. Deze onbepaaldheden leiden tot moeilijkheden bij het afleiden en voorspellen van emergent gedrag. Kan het emergentieprobleem opgelost worden door een op een andere manier naar de werkelijkheid te kijken? Een wijziging van invalshoek lijkt ons echter onvoldoende om het

²¹ De wiskundige modellen die bijvoorbeeld in de black box benadering gebruikt worden zijn niet op fysische beschouwingen gebaseerd.

²² Dit onderscheid vertoont overeenkomst met het systeem van de dubbele waarheid van de Arabische filosoof Averroës.

²³ Een algemeen bewijs voor het reductionisme bestaat evenmin.

emergentieprobleem op te lossen. We denken dat een combinatie van uiteenlopende visies noodzakelijk is om de complexe werkelijkheid zo betrouwbaar als mogelijk te benaderen. Door een gepaste keuze van invalshoeken hopen we om de onbepaaldheden die het emergentieprobleem inhoudt te verminderen. In *'Nieuwheid denken'* hebben we een voorstel gedaan om de 'bottom-up' visie van het micro-reductionisme aan te vullen met twee complementaire visies teneinde de mogelijkheden die nog open blijven te beperken.²⁴ Dit wordt in punt 5 verder besproken.

Het micro-reductionisme is eigenlijk gebaseerd op een structurele kijk op de werkelijkheid. We trachten bijvoorbeeld het gedrag van levende organismen via de eigenschappen en interacties van cellen, moleculen en atomen te herleiden tot de eigenschappen van elementaire deeltjes en fundamentele krachten. Daarnaast kunnen we ook vanuit een evolutionair perspectief naar de werkelijkheid zien en de evolutie als een organisatieproces beschouwen. De materie organiseert zich tot complexe gehelen en er verschijnen daarbij nieuwe eigenschappen en gedragspatronen die als we als emergent kunnen opvatten. Tijdens de evolutie treden immers vertakkingen ('bifurcaties') en sprongen (catastrofes of 'quantum leaps') op die de evolutie onverwacht in een andere richting sturen of plots tot breuken in de ontwikkelingen leiden. De werkelijkheid ontvouwt zich als het ware en naast de complexiteit neemt ook de variatie toe.²⁵ Er ontstaat een diversiteit aan wezens met uiteenlopende eigenschappen en wetmatigheden.

Voor een eenvoudig voorbeeld van emergentie wordt dikwijls naar de fasetransities van een stof verwezen: de overgang van een gas naar een vloeistof en van een vloeistof naar een vaste stof bij een dalende temperatuur. Tijdens het afkoelen van waterdamp bekomt men bijvoorbeeld achtereenvolgens water en ijs. Het is duidelijk dat ijs eigenschappen heeft die men bij de studie van water en waterdamp niet ontmoet. In een evolutionair perspectief kunnen dergelijke eigenschappen emergent worden genoemd. De mechanische eigenschappen van vaste stoffen zoals treksterkte en druksterkte zijn niet relevant bij vloeistoffen en gassen. Ze zijn ook niet afleidbaar uit de wetten die voor vloeistoffen of gassen gelden. Via een gemeenschappelijke onderliggende theorie zoals de kwantummechanica is het misschien wel mogelijk om de fasetransformaties te verklaren. In dit geval kan men micro-reductionistisch gezien niet meer over emergentie spreken.

De wetenschap tracht de werkelijkheid te beschrijven en de verworven kennis zo compact mogelijk weer te geven. Door informatiereductie poogt men de overtollige informatie (redundantie) zoveel mogelijk te verminderen. Dit gebeurt niet alleen door het onderkennen van terugkerende patronen, wetten en symmetrieën maar ook door de wetenschappelijke theorieën tot elkaar te herleiden. Men tracht alle wetenschappen in een reductionistisch kader in te passen. Het micro-reductionisme is de meest bekende maar niet de enige vorm van informatiereductie.

In de exacte wetenschappen is het micro-reductionisme een zeer succesvolle vorm van informatiereductie en 'denkeconomie'. De verhoopde tot het uiterste doorgedreven informatiereductie is echter nog niet mogelijk en lijkt zelfs onrealistisch. Er bestaan wetmatigheden die men in de huidige stand van de wetenschap niet tot de fundamentele wetten kan herleiden. Het emergentiebegrip wijst op wetenschappelijke kennis die niet in het micro-reductionistisch denkkader kan ingepast worden en op beperkingen van de micro-reductionistische visie op de werkelijkheid.

²⁴ Hubert Van Belle, *Drie complementaire visies op de werkelijkheid*. Hubert Van Belle en Jan Van der Veken (red.), *Nieuwheid denken. De wetenschappen en het creatieve aspect van de werkelijkheid*, Leuven / Voorburg, Acco, 2008, p. 107.

²⁵ Dit wordt mooi grafisch weergegeven in het *'Tree of Knowledge System'* van Gregg Henriques: http://en.wikipedia.org/wiki/Tree_of_Knowledge_System

Emergentie duidt op zijn minst op een probleem dat vastgesteld wordt bij de micro-reductionistische structurering van wetenschappelijke kennis. In de volgende twee hoofdstukken wordt dit idee verder uitgewerkt. We zien emergentie als een kennisprobleem in het kader van axiomatisch gestructureerde theorieën. De fundamentele wetten worden dan als axioma's beschouwd. De emergente wetten kunnen niet uit deze axioma's afgeleid worden. In deze visie wijst emergentie op de onvolledigheid van het axiomastelsel. Dit stelsel kan aangevuld worden door één of meer emergente wetten als axioma te beschouwen.

3. Relaties tussen theorieën

In de wetenschap gaan we er van uit dat de werkelijkheid kenbaar en verstaanbaar is. Albert Einstein zag de begrijpbaarheid van de wereld als een eeuwig mysterie.²⁶ We trachten de werkelijkheid met een web van onderling met relaties verbonden begrippen te beschrijven.

Belangrijke noties i.v.m. de verbanden tussen wetenschappelijke theorieën zijn:

1. Theorie.

Een wetenschappelijke theorie is een verzameling van uitspraken die een deel van de werkelijkheid en/of bepaalde aspecten van deze werkelijkheid beschrijven. De uitspraken van een wetenschappelijke theorie mogen niet tegenstrijdig zijn. De verschillende theorieën pogen op hun manier de werkelijkheid zo goed mogelijk op verschillende niveaus ('micro-macro') en vanuit verschillende gezichtspunten (aspecten) te vatten. Een verzameling van met elkaar gerelateerde theorieën vormt een wetenschap.

2. Uitspraak.

De uitspraken over de werkelijkheid bestaan uit door relaties met elkaar verbonden begrippen (of termen). Sommige van deze uitspraken, definities genoemd, zijn conventies. Een voorbeeld hiervan is de definitie van snelheid. Andere uitspraken kunnen niet vrij gekozen worden en zijn door de werkelijkheid bepaald. Dit is het geval voor de wetten van de natuur. De geldigheid (of waarheid) van deze uitspraken dient door succesvolle observaties, experimenten en/of voorspellingen bevestigd te worden. Merk op dat niet alle definities vruchtbaar zijn. Ze moeten tot wetten (of modellen) leiden die een bruikbaar en betrouwbaar beeld van de werkelijkheid opleveren.

3. Axioma.

De verzameling van uitspraken in een theorie vormt dus een netwerk (of web) van door relaties onderling verbonden begrippen. Met behulp van een minimum aantal goedgekozen uitspraken, axioma's (of postulaten) genoemd, tracht men dit netwerk op een hiërarchische wijze te structureren. In een volledig axiomatisch gestructureerde theorie is men er in geslaagd een stelsel van axioma's vast te leggen waaruit alle andere geldende uitspraken kunnen worden afgeleid. Dit axiomastelsel geeft dan de essentie van de theorie in een compacte vorm weer.

Niet alle mogelijke theorieën leveren een bruikbaar of betrouwbaar beeld van de werkelijkheid op. De werkelijkheid is de uiteindelijk toetssteen voor een wetenschappelijke theorie. De wiskunde blijkt modellen en methoden ter beschikking te stellen die zeer vruchtbaar zijn voor het weergeven van de werkelijkheid. De wiskunde lijkt wel een gereedschapskist ('tool kit') om de wereld te beschrijven. De abstracte en generaliserende theorieën van de wiskunde zijn immers in verschillende domeinen van de wetenschap toepasbaar.

²⁶ *One may say "The eternal mystery of the world is its comprehensibility". It is one of the great realizations of Immanuel Kant that the setting up of a real external world would be senseless without this comprehensibility.*
Zie: http://en.wikiquote.org/wiki/Albert_Einstein

Abstractie en generalisatie spelen een belangrijke rol bij de integratie en unificatie van de wetenschappen. Men tracht de verschillende wetenschappelijke theorieën met een generaliserende theorie te overkoepelen. De overkoepelde theorieën zijn dan een verbijzondering, een bijzonder geval van de algemene theorie. Een mooi voorbeeld hiervan is de systeemtheorie, een synthetische benadering, die in diverse disciplines toepasbaar is.²⁷ Het micro-reductionistisch project volgt een andere methode. Men probeert de verschillende theorieën met elkaar te verbinden en op een axiomastelsel te funderen.

Het is de grote droom van de exacte wetenschappers om het web van begrippen en relaties tot een beperkt aantal 'axioma's' te herleiden waaruit alle andere uitspraken logisch of mathematisch kunnen worden afgeleid. In de huidige micro-reductionistische visie op de werkelijkheid vormen de fundamentele wetten van de kwantummechanica het axiomastelsel van de werkelijkheid.²⁸ Er wordt aangenomen dat men uiteindelijk in staat zal zijn om alle wetten hieruit af te leiden.

De operaties afleiden en herleiden en de begrippen verklaren en bepalen, leggen de relaties tussen de wetenschappelijke theorieën vast. We stellen dat indien alle uitspraken in de theorie B uit uitspraken in de theorie A kunnen worden afgeleid:

- de verschijnselen die door theorie B beschreven worden ook door theorie A kunnen worden beschreven;
- de theorie A de theorie B volledig verklaart;
- de theorie B tot de theorie A herleid kan worden;
- de uitspraken van de theorie A de theorie B volledig bepalen.

Afleiden betekent bewijzen dat een uitspraak, een stelling genoemd, geldig is. De mogelijkheid om uitspraken uit elkaar af te leiden houdt ook de mogelijkheid tot voorspellen in. Uitgaande van uitspraken in een bekende theorie kan men nog onbekende uitspraken doen.²⁹

Door de manier te beschouwen waarop de uitspraken uit elkaar afgeleid worden is het mogelijk om een theorie axiomatisch te structureren, ze in lagen in te delen en niveaus te onderkennen. De als axioma's gekozen uitspraken vormen dan de laagste laag van de theorie. Het blijkt mogelijk te zijn om bepaalde theorieën uit verschillende axiomastelsel af te leiden. Dit geldt ook voor een natuurwetenschap die axiomatisch opgebouwd werd. De mechanica kan bijvoorbeeld op de wetten van Newton of op het principe van Hamilton³⁰ gebaseerd worden. Men kiest bij voorkeur voor zo eenvoudig en begrijpbaar mogelijke axioma's. De speciale relativiteitstheorie van Einstein is bijvoorbeeld onder meer op het axioma gebaseerd dat voortplantingssnelheid van het licht niet afhangt van de bewegingsnelheid van de lichtbron.³¹ Dit contra-intuïtief axioma leidde tot stellingen die achteraf experimenteel bevestigd werden.

Een axiomastelsel dient volledig en consistent te zijn. Alle stellingen van een theorie moeten er kunnen uit afgeleid worden en de axioma's mogen niet tegenstrijdig zijn. In dit geval volstaan de

²⁷ Hubert Van Belle, *Het denkkader van de systeemtheorie*, in: Diederik Aerts, Leo Apostel, Bart De Moor, Staf Hellemans, Edel Maex, Hubert Van Belle, Jan Van der Veken, *Cirkelen om de wereld. Concrete invullingen van het wereldbeeldenproject*, Kapellen, Pelckmans, 1994, p. 141-179.

²⁸ Het kunnen in de toekomst ook de axioma's worden van een 'Theory of Everything' (ToE) zoals de snaartheorie of membraantheorie.

²⁹ Einstein leidde bijvoorbeeld uit de algemene relativiteitstheorie de afbuiging van het licht van sterren door de zon af. Zie: http://nl.wikipedia.org/wiki/Algemene_relativiteitstheorie

³⁰ Het principe van kleinste werking, een variationeel principe.

³¹ Dit werd door de Nederlandse astronoom Willen de Sitter aangetoond. Zie: Albert Einstein, *Relativiteit. Speciale en algemene theorie*, Aula, 1988, p. 19.

axioma's van het stelsel om alle geldige uitspraken te bewijzen. Bovendien kan men geen uitspraken formuleren waarvan we kunnen bewijzen dat ze zowel geldig als ongeldig zijn. De eisen van volledigheid en consistentie blijken echter niet altijd samen realiseerbaar. Een consistent axiomastelsel is niet noodzakelijk volledig.

Indien niet alle geldige uitspraken uit het gekozen axiomastelsel afleidbaar zijn botsen we eigenlijk op het emergentieprobleem. De geldige uitspraken die niet uit het axiomastelsel afgeleid kunnen worden zou men als men als axioma zou moeten bijvoegen om dit stelsel te vervolledigen. De ontbrekende uitspraken kunnen we als emergent beschouwen. In dit axiomatisch kader is de onvolledigheid van een axiomastelsel dus de bron van emergentie. Gezien de eis van consistentie biedt het vervolledigen van het axiomastelsel echter niet steeds een oplossing, zeker in de wiskunde.

Een belangrijke stelling voor axiomastelsels uit de wiskunde is immers de onvolledigheidsstelling van Gödel.³² In de rekenkunde kan men bijvoorbeeld stellingen formuleren die niet uit het axiomastelsel van Peano afleidbaar zijn. De onvolledigheidsstelling speelt ons inziens een grote rol in het emergentiebeprip. Indien er ook een onvolledigheidsstelling voor de fysica geldt, bestaan er wetten die men niet kan bewijzen uitgaande van de axioma's van de kwantummechanica alleen. Om hun geldigheid aan te tonen dient men wetten uit andere theorieën als axioma's bij te voegen. Voor een eenvoudige klasse van fysische systemen (het oneindig periodiek Ising rooster) wordt bijvoorbeeld aangetoond dat veel macroscopisch observeerbare eigenschappen niet in het algemeen afgeleid kunnen worden uit een microscopische beschrijving. Deze systemen vertonen emergente eigenschappen en er zijn bijkomende inzichten nodig om hun gedrag uit elementaire wetten af te leiden.³³ Als er een fysische equivalent voor de onvolledigheidsstelling van Gödel gevonden kan worden dan zal de grote droom van de exacte wetenschap en het micro-reductionisme onhaalbaar blijken.

4. Meer over emergentie

Zoals we reeds opmerkten is emergentie nog steeds een omstreden begrip. Emergentie wordt onder meer toegeschreven aan chaotisch gedrag van niet-lineaire systemen dat praktisch onvoorspelbaar blijkt.³⁴ Kleine wijzigingen in de begintoestand leiden immers tot zeer grote gevolgen. Voorbeelden hiervan zijn het grillig gedrag van het weer en het 'vlindereffect' ('butterfly effect')³⁵. De onbepaaldheden bij symmetriebrekingen kunnen ook tot gedrag aanleiding geven dat we als emergent mogen beschouwen. Dit is bijvoorbeeld het geval voor knik³⁶, een instabiliteitsverschijnsel

³² *De eerste onvolledigheidstelling stelt dat ieder axiomatisch wiskundig systeem dat voldoende krachtig is om alle basiseigenschappen van de natuurlijke getallen te bewijzen, hetzij onvolledig is (dat wil zeggen dat er ware uitspraken zijn die niet bewezen kunnen worden), hetzij inconsistent is (dat wil zeggen dat er onware uitspraken zijn die wel bewezen kunnen worden). Anders geformuleerd zal ieder consistent axiomatisch systeem van voldoende kracht om de getaltheorie in uit te drukken, stellingen kennen, die noch bewezen, noch ontkracht kunnen worden binnen dat systeem, en dus onbeslisbaar zijn.* Zie:

http://nl.wikipedia.org/wiki/Onvolledigheidsstellingen_van_G%C3%B6del

³³ *This provides evidence that emergent behavior occurs in such systems, and indicates that even if a 'theory of everything' governing all microscopic interactions were discovered, the understanding of macroscopic order is likely to require additional insights.* In: Mile Gu, Christian Weedbrook, Alvaro Perales en Michael A. Nielsen, *More Really is Different*. Zie: http://arxiv.org/PS_cache/arxiv/pdf/0809/0809.0151v1.pdf

³⁴ Zowel deterministische als niet-deterministische systemen kunnen een chaotisch gedrag vertonen. Merk op dat 'chaotisch gedrag' in de theorie van de niet-lineaire systemen niet hetzelfde is als willekeurig gedrag ('random').

³⁵ Het fladderen van een vlinder in het Braziliaanse oerwoud zou een tornado in Texas kunnen veroorzaken. Zie: <http://nl.wikipedia.org/wiki/Vlindereffect> of: http://en.wikipedia.org/wiki/Butterfly_effect

³⁶ Zie: http://nl.wikipedia.org/wiki/Knik_%28constructieer%29

dat onder andere bij belaste slanke kolommen en staven kan optreden. Het knikprobleem heeft verschillende oplossingen waarvan niet bepaald kan worden welke oplossing in werkelijkheid zal optreden.³⁷ Dit doet ons aan de 'ezel van Buridan' denken die van honger stierf omdat hij geen keuze kon maken tussen gelijkwaardige alternatieven.³⁸ Dikwijls wordt het toeval ter hulp geroepen om de ontwikkelingen te 'verklaren'. In veel gevallen is het inroepen van toeval als een teken te beschouwen dat er symmetriebrekingen in het spel zijn.

Belangrijke kenmerken van emergentie zijn:

- het onverwacht en onvoorzienbaar opduiken van nog onbekende eigenschappen, structuren, wezens, verschijnselen, gedragspatronen en wetten;
 - het ontstaan van nieuwheid en kwalitatieve veranderingen;
 - het onverklaarbare en irreduceerbare;
 - onafleidbaarheid en onvoorspelbaarheid, soms omwille van onberekenbaarheid;
 - onbepaaldheden en verschillende mogelijke uitkomsten;
 - onbeslisbaarheid tussen alternatieve oplossingen;
 - onberekenbaarheid en onbeslisbaarheid met automatische procedures (computer algoritmes).³⁹
- Het 'nieuwe' bestond vooraf niet, is geen herhaling of combinatie van het bestaande en is fundamenteel 'anders'.

Een algemeen geldend bewijs dat emergentie bestaat is voor zover we weten nog steeds niet gevonden. Bovendien vinden we in de literatuur tientallen definities van emergentie. Men onderscheidt ook verschillende vormen van emergentie zoals:

- sterke en zwakke;
- ontologische en epistemologische⁴⁰;
- synchrone of diachrone⁴¹;
- theoretische, methodologische en ontologische⁴².

In de sterke, ontologische vorm van emergentie neemt men aan dat het om een zijnde gaat, een werkelijk bestaand fenomeen⁴³. De zwakke, epistemologische vorm van emergentie wijst op een

³⁷ Een symmetrische kolom kan in verschillende richtingen knikken. Er kunnen ook verschillende knikmodes ('buckling modes') optreden. Zie:

http://www.ecourses.ou.edu/cgi-bin/ebook.cgi?doc=&topic=me&chap_sec=09.1&page=theory

³⁸ Zie: http://nl.wikipedia.org/wiki/Ezel_van_Buridan of: http://en.wikipedia.org/wiki/Buridan%27s_ass

³⁹ Het stopprobleem ('halting problem') van Alan Turing is een bekend voorbeeld van een probleem dat onbeslisbaar en onberekenbaar is. Zie: <http://nl.wikipedia.org/wiki/Berekenbaarheid>

In het boek van John D. Barrow, *Impossibility. The Limits of Science and the Science of Limits*, Oxford University Press, 1998, is een deel van het hoofdstuk over 'Impossibility and us' gewijd aan: 'Gödel's theorem and physics' en 'Does Gödel stymie physics?'. Daarin wordt naar een aantal voorbeelden verwezen van onbeslisbare en onberekenbare problemen bij fysische systemen uit het domein van de 'condensed-matter physics', de algemene relativiteitstheorie en de kwantummechanica (golfvergelijking). Het blijkt ook onmogelijk te zijn om een algemeen algoritme te vinden dat kan beslissen of een evenwicht van een systeem al dan niet stabiel is.

⁴⁰ Volgens de zijnsleer of volgens de kennisleer. Ontologische emergentie kan als een sterke vorm van emergentie beschouwd worden, epistemologische emergentie als een zwakke vorm.

⁴¹ Niet of wel rekening houdend met het tijdsaspect.

⁴² Volgens het soort reductionisme dat beschouwd wordt. *Theoretical reduction is the process by which one theory absorbs another. Methodological reductionism is the position that the best scientific strategy is to attempt to reduce explanations to the smallest possible entities. Ontological reductionism is the belief that reality is composed of a minimum number of kinds of entities or substances.* Zie:

<http://en.wikipedia.org/wiki/Reductionism>

⁴³ Onafhankelijk van het kennend subject.

kennisprobleem dat eventueel slechts tijdelijk is en door de vooruitgang van de wetenschap kan worden opgelost.

Zelfs reductionisten, die emergentie niet als iets bestaands aanvaarden, zullen omwille van beperkingen van kennis met het probleem geconfronteerd worden en verplicht zijn om een epistemologische vorm van emergentie aan te nemen. Het lijkt daarnaast ook niet realistisch om de reductionistische visie volledig af te wijzen. Er dringt zich een compromis op dat beide visies met elkaar combineert. We opteren voor een micro-reductionisme dat nog ruimte laat voor emergentie. Dit compromis lijkt actueel het meest aanvaardbaar. Het belet geen nieuwe micro-reductionistische verklaringen en sluit emergentie niet uit.

De discussie over de ware aard van emergentie is nog niet afgesloten. We proberen het dispuut tussen reductionisten en emergentisten over de ware aard van de werkelijkheid te vermijden door emergentie te beschouwen in het kader van de relaties tussen theorieën.⁴⁴ We kiezen ook voor een tussenoplossing en gaan er van uit dat de wetten van de lagere lagen van de werkelijkheid de mogelijksvoorwaarden voor de wetten van de hogere lagen bieden, maar deze niet volledig bepalen.⁴⁵ We aanvaarden dus emergentie maar behouden toch het essentiële van het micro-reductionisme.

Dit brengt ons tot de volgende omschrijvingen voor emergente definities en wetten. Een uitspraak in een theorie A is emergent ten opzichte van de uitspraken in een theorie B indien:

- de uitspraak in theorie A niet met een logisch of mathematisch bewijs afgeleid kan worden uit de uitspraken van theorie B;
- de uitspraak in theorie A niet uitsluitend tot de uitspraken van theorie B te herleiden is;
- een reductionistische verklaring van de uitspraak in theorie A in de uitspraken van theorie B alleen onmogelijk is;
- de uitspraak in theorie A de uitspraken van theorie B veronderstelt maar de uitspraken van theorie B de uitspraak in theorie A niet volledig bepalen;
- er bijkomende uitspraken nodig zijn om de uitspraak in theorie A uit de uitspraken van theorie B af te leiden;
- de uitspraak uit theorie A slechts bewezen kan worden door de uitspraken in theorie B aan te vullen met (één of meer) andere uitspraken uit theorie A of met (één of meer) bijkomende uitspraken uit een derde theorie.

Het nieuwhedsaspect van emergentie brengen we dus in verband met onafleidbaarheid, onherleidbaarheid, onverklaarbaarheid, onbepaaldheid en onvolledigheid van uitspraken.

We kunnen bijvoorbeeld de wetten voor ideale gassen uit de thermodynamica⁴⁶ als theorie A beschouwen en de botsingswetten van de mechanica⁴⁷ als theorie B. Met de kinetische gastheorie proberen we de eigenschappen van een gas (druk, volume en absolute temperatuur) af te leiden uit de eigenschappen en beweging van de gasmoleculen.⁴⁸ De kinetische gastheorie vormt de schakel tussen de microscopische en macroscopische niveaus. De absolute temperatuur is echter niet gedefinieerd in de mechanica en kan evenmin met behulp van de kinetische gastheorie uit de

⁴⁴ In deze definitie kiezen we een vorm van emergentie waarvan we aannemen dat die zowel voor menswetenschappers als exacte wetenschappers aanvaardbaar is. Of emergentie al dan niet een fundamenteel probleem is en of het alleen om een kennisprobleem gaat, wordt open gelaten.

⁴⁵ We kunnen bijvoorbeeld stellen dat de wetten van kwantummechanica zo moeten zijn dat ze de wetten van klassieke fysica op zijn minst mogelijk maken.

⁴⁶ Zie: http://nl.wikipedia.org/wiki/Algemene_gaswet en http://en.wikipedia.org/wiki/Ideal_gas_law

⁴⁷ Zie: http://nl.wikipedia.org/wiki/Botsing_%28natuurkunde%29

⁴⁸ Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/Kinetic_theory

botsingswetten alleen afgeleid worden. Er moet een relatie tussen de kinetische energie van de moleculen en de absolute temperatuur van het gas ingevoerd worden.⁴⁹ Vanuit het oogpunt van de mechanica gezien is de absolute temperatuur dus emergent. Dit geldt ook voor de algemene gaswet waarin de temperatuur een rol speelt.

We kunnen het dan ook over emergente theorieën hebben. Een theorie A is emergent ten opzichte van een theorie B als minstens een van volgende voorwaarden voldaan is:

- in de theorie A bestaan er definities en/of wetten die emergent zijn ten opzichte van de theorie B en die dus niet uit theorie B kunnen afgeleid worden.
- in theorie A komen er begrippen voor die niet in de theorie B gekend zijn en bovendien niet uit de theorie B afgeleid kunnen worden.

Theorieën die emergent zijn ten opzicht van elkaar kunnen niet zonder aanpassing geïntegreerd en axiomatisch gestructureerd worden. De axioma's van theorie B volstaan dan niet om de emergente theorie A ook te onderbouwen. Er is nood aan één of meer bijkomende axioma's om het reductieprobleem te vermijden. Het kan om nieuwe axioma's gaan. Om het afleiden van de ideale gaswetten uit de botsingswetten van de mechanica mogelijk te maken is dat bijvoorbeeld de relatie tussen de absolute temperatuur van het gas en de kinetische energie van de moleculen. Door deze relatie als een bijkomend axioma van de kinetische gastheorie te beschouwen kan deze theorie met de thermodynamica verbonden worden.

Indien men de theorie A met de theorie B in een axiomatisch gestructureerde theorie zonder nieuwe axioma's wil verenigen kan men ook als emergent beschouwde uitspraken uit theorie A als bijkomende axioma's aan de theorie B toevoegen. Door emergente definities en wetten als axioma's in het axiomastelsel van de geïntegreerde theorieën op te nemen kunnen we dit stelsel vervolledigen. Dit is bijvoorbeeld het geval indien men de algemene gaswet gebruikt in de kinetische gastheorie om een brug te slaan naar de thermodynamica.⁵⁰ We kunnen de ontbrekende axioma's ook uit een derde theorie halen. Voor het definiëren van de absolute temperatuur van een gas in de kinetische gastheorie wordt bijvoorbeeld beroep gedaan op de statistische mechanica.⁵¹

Het opnemen van enkele bijkomende axioma's lost het onvolledigheidsprobleem niet noodzakelijk helemaal op. Er kunnen immers steeds opnieuw bijkomende axioma's vereist zijn om de nieuwe wetenschappelijke ontdekkingen te grondvesten en het axiomastelsel verder te vervolledigen. Indien een theorie niet tot een beperkt aantal axioma's kan herleid worden kunnen we moeilijk nog van informatiereductie spreken. Zoals we reeds in het punt 3 opmerkten kan er ook een onverenigbaarheid bestaan tussen de volledigheid en consistentie van een axiomastelsel.

Tot nu toe hebben we in dit hoofdstuk een axiomatisch gestructureerde benadering van kennis besproken om het emergentiebegrrip te verduidelijken. Emergentie kan daarnaast ook in een evolutionaire context beschouwd worden. Voor emergentie in het evolutieproces is ons inziens vereist dat:

- de voorwaarden (omstandigheden) die voldaan moeten zijn voor het ontstaan van nieuwe wezens

⁴⁹ In de kinetische gastheorie neemt men bijvoorbeeld het volgende axioma aan: "*The average kinetic energy of the gas particles depends only on the temperature of the system*". Zie:

http://en.wikipedia.org/wiki/Kinetic_theory#Assumptions

⁵⁰ Zie: <http://teacher.pas.rochester.edu/phy121/lecturenotes/Chapter18/Chapter18.html>

Merk ook op dat men bij de afleiding van de relatie tussen de absolute temperatuur en de gemiddelde kinetische energie van de moleculen onder meer uitgaat van de algemene gaswet.

⁵¹ Zie: http://nl.wikipedia.org/wiki/Statistische_thermodynamica en

http://en.wikipedia.org/wiki/Statistical_mechanics

niet uit de theorie afgeleid kunnen worden;

- de vereiste 'trigger'⁵² niet afgeleid kan worden en we het tijdstip waarop deze 'trigger' optreedt niet kunnen voorzien;

- de bekende wetten niet toelaten om de vorming van de nieuwe wezens te verklaren en men hun structuur en inwendige processen niet kan voorspellen;

- de eisen voor het voortbestaan niet kunnen bepaald worden (stabiliteit, robuustheid,...) en de bekende wetten het overleven van de wezens in hun omgeving niet (volledig) kunnen verklaren;

- het gedrag onverklaarbare eigenschappen vertoont.

Met de 'trigger' komt het toeval in beeld.

Dit alles brengt ons tot de vraag of de speelruimte voor emergente wetten onbeperkt is. Het blijkt mogelijk om voorwaarden te formuleren waaraan emergente wetten moeten voldoen of die de keuze van de mogelijke alternatieven beperken. De werkelijkheid wordt daarbij vanuit verschillende invalshoeken beschouwd.

5. Drie complementaire invalshoeken

In de vorige punten hebben we het emergentiebegrip in het kader geplaatst van uit axiomastelsels opgebouwde theorieën. Emergentie volgt dan uit de onbepaaldheden die een reductionistische visie op de werkelijkheid, bijvoorbeeld een micro-reductionistische visie, nog inhoudt. We hebben er eveneens op gewezen dat de mechanica bijvoorbeeld op de wetten van Newton of op het principe van Hamilton kan worden gebaseerd. Ook het verband tussen symmetrieën of invarianten en behoudswetten kwam reeds aan bod.

We kunnen drie belangrijke uitgangspunten voor de mechanica onderscheiden:

- de wetten van Newton die de relaties tussen beweging van een massa en erop inwerkende krachten weergeven. De mechanica van Newton is een vectoriële benadering die reeds in het middelbaar onderwijs gedoceerd wordt. De tweede wet van Newton leidt tot het behoud van hoeveelheid van beweging indien er geen uitwendige krachten uitgeoefend worden.

- het principe van de 'kleinste werking' of het principe van Hamilton. Dit variationeel principe stelt dat de actie-integraal van het verschil tussen de kinetische energie en potentiële energie van een conservatief mechanisch systeem naar een extreme waarde, dikwijls een minimum, streeft. Deze minder bekende energetische benadering wijst op een vorm van doelgerichtheid.

- de invariantie van de wetten voor de plaats van de meting, de oriëntatie van de meettoestellen en het tijdstip van het experiment. Uit deze symmetrievorwaarden heeft Emmy Noether het behoud van hoeveelheid beweging (voor translatie en rotatie) en het behoud van energie afgeleid.

Deze invalshoeken leiden tot dezelfde uitkomst bij het oplossen van mechanische problemen.

Het is belangrijk om op te merken dat de invariantievoorwaarden objectieve kennis en inductieve veralgemening mogelijk maken. We nemen immers aan dat iedere observator hetzelfde kan vaststellen ongeacht waar en wanneer hij een verschijnsel bestudeert. Dit laat toe om kennis te delen die voor iedereen verifieerbaar is en algemeen aanvaard kan worden. We beschouwen deze kennis dan als objectief indien alle individuele menselijke factoren zoals meningen en voorkeuren tot een minimum beperkt werden. Een uitspraak over de werkelijkheid kan als een wet beschouwd

⁵² Een trigger is een 'mechanisme' dat een proces in gang zet.

worden indien de waarheid van deze in een regel geformuleerde uitspraak algemeen aanvaard wordt. Een wet dient voor iedereen, overal en altijd te gelden.

Meer algemeen kunnen we ook voor de hogere lagen van de werkelijkheid drie invalshoeken onderscheiden. Deze drie invalshoeken leiden nu niet noodzakelijk tot dezelfde oplossing maar zijn complementair.⁵³ De tweede en derde invalshoek leggen beperkingen en voorwaarden op aan de mogelijkheden die de eerste invalshoek omwille van onbepaaldheden nog open laat. Ze laten toe om de ruimte af te bakenen waarin de emergente eigenschappen moeten gesitueerd zijn en eisen vast te leggen waaraan de emergente wetten moeten voldoen. We nemen daarbij aan dat emergent gedrag ook (enigszins) in een rationeel denkkader ingepast kan worden.

De eigenschappen van een laag van de werkelijkheid kunnen afgeleid worden vanuit een opwaartse, neerwaartse en formele visie⁵⁴:

- *de micro-reductionistische visie met opwaartse oorzakelijkheid ('upward causation')*:

beperkingen die de lagere lagen aan de hogere lagen opleggen, enerzijds de beperkingen die de fundamentele wetten van de fysica stellen en anderzijds de potentiële mogelijkheden die ze bieden, de mogelijkheidsvoorwaarden van het fysisch kader en de onbepaaldheden die de elementaire wetten nog open laten. Dit is de visie waarbij de kwantumtheorie, snaartheorie ('string theory') of membraamtheorie ('M-theory') de meest fundamentele laag vormen.

- *een visie van op hoog niveau met neerwaartse oorzakelijkheid ('downward causation')*:

beperkingen die door de hogere lagen van de werkelijkheid aan de lagere lagen opgelegd worden, eisen van de totaliteit, organiserende principes, voorwaarden voor het zijn (zoals stabiliteit), eisen voor het voortbestaan (zoals robuustheid), voorwaarden waaraan wezens moeten voldoen om te overleven, succesfactoren, selectiecriteria tussen alternatieve mogelijkheden, preferenties in de natuur en metaregels voor de evolutie, efficiëntiecriteria en minima- of maxima-principes (zoals het streven naar een minimum van potentiële energie of een maximum van entropie). Extremaalprincipes en formuleringen in de vorm van optimalisatieproblemen spelen hier een grote rol.

- *een formele visie met de 'spelregels' waaraan wetten moeten voldoen*:

voorwaarden die het algemeen kader stelt, symmetrieën die volgen uit de eisen van objectiviteit die aan wetten gesteld worden, invariantie voor bepaalde transformaties zodat een inductieve veralgemening van experimentele kennis mogelijk is (onder meer een wijziging van de positie van de observator), bepaalde asymmetrieën die de reële en niet ideale wereld kenmerken, vormvereisten voor wiskundige formulering van de wetten. In de wetenschap worden tal van arbitraire keuzes gemaakt zoals de keuze van eenheden, referentiepunt, referentieassenstelsel, begintijdstip en fase. Deze aannames mogen geen invloed hebben op de wetten die geobserveerd worden en komen met invarianten of symmetrieën overeen. Een asymmetrie zoals causaliteit legt ook beperkingen op aan de vorm die wetten mogen aannemen.⁵⁵

⁵³ Deze drie invalshoeken doen denken aan een ontwerpmethodologie uit de ingenieurswetenschappen waarin men aanraadt: "Bottom-up, top-down, meet in the middle".

⁵⁴ Hubert Van Belle, *Drie complementaire visies op de werkelijkheid*, in: Hubert Van Belle en Jan Van der Veken (red.), *Nieuwheid denken. De wetenschappen en het creatieve aspect van de werkelijkheid*, Leuven / Voorburg, Acco, 2008, p. 110 en 121.

⁵⁵ Men kan vooropstellen dat de wetten causaal van karakter moeten zijn en dat het gevolg dus niet voor de oorzaak mag optreden. Het Paley-Wiener criterium legt deze eis op aan transferfuncties van fysische systemen. De impulsresponsie is gelijk aan nul voor $t < 0$. Zie: Lofti A. Zadeh and Charles A. Desoer, *Linear System Theory. The State Space Approach*, New York, McGraw-Hill Book Company, 1963, p. 421.

In het darwinisme wordt de evolutie 'verklaard' door toevallige en willekeurige variatie en door natuurlijke selectie ('survival of the fittest'). De 'fitste' wezens zijn het meest aangepast, overleven de strijd om het bestaan ('struggle for life') en kunnen zich voortplanten. Ze zijn in staat om zich te handhaven en hun voortbestaan te verzekeren. Dit is geen verklaring in de strikte micro-reductionistische zin. Het selectie criterium is een vorm van neerwaartse oorzakelijkheid die het evolutieproces begrijpbaar maakt. Volgens Richard Dawkins zou het darwinisme nooit kunnen werken als het een theorie van (alleen) het toeval was.⁵⁶

Merk op dat het selectie criterium niet alleen de evolutierichting bepaalt maar daarbij ook beperkingen oplegt aan de als emergent beschouwde eigenschappen van levende wezens. Niet alle soorten van wezens overleven het evolutieproces. Alleen de wetten die in de gedragspatronen van de overlevende soorten kunnen worden onderkend blijven over in de hogere lagen van de werkelijkheid. In die zin kan men stellen dat deze emergente wetten ook het resultaat zijn van het selectieproces van de evolutie. Dat al de bestaande natuurwetten, de fundamentele wetten van de fysica inbegrepen, het gevolg zijn van een evolutieproces lijkt ons zeer speculatief.

Een nog te weinig bekende vorm van symmetrie is schaalinvariantie. De wiskundige vorm van wetten dient onafhankelijk te zijn van de keuze van eenheden. Schaalinvariantie leidt tot machtswetten ('power laws'). Een machtswet wordt gekenmerkt door de functie $y = a \cdot x^n$. Deze wet wordt op dubbellogaritmisch papier door een rechte voorgesteld. Een bekend voorbeeld is de wet van Zipf die de relatie weergeeft tussen de frequentie van woorden in een natuurlijke taal en de rangorde van hun optreden.⁵⁷ Machtswetten vinden we in uiteenlopende takken van de wetenschap terug zodat men het soms heeft over universaliteit ('universality'). Interessante voorbeelden zijn onder meer de wetten of verdelingen van Lotka (frequentie van publicaties), Cobb-Douglas (productiefunctie in de economie), Pareto ('80-20'-regel) en Benford ('leading digit 1').

Niet alleen in de lagere lagen maar ook in de hogere lagen van de wetenschap vinden we machtswetten. Omwille van de eis van schaalinvariantie is het niet bijzonder dat de wetmatigheden de vorm van een machtswet aannemen. De schaalwetten die ontdekt worden zijn echter wel verrassend. Voorbeelden hiervan zijn de allometrische formules in de biologie, anatomie en fysiologie.⁵⁸ In de allometrie bestudeert men onder meer de onderlinge verhoudingen tussen de dimensies van levende wezens (zoals afmetingen en massa) tijdens hun groei en de relaties van deze karakteristieken met de prestaties (bijvoorbeeld snelheid).

Geoffrey West gelooft in 'generieke universele principes' die ook op steden toepasbaar zijn. Hij spreekt over een wetenschappelijke theorie van de steden.⁵⁹ Er gelden bijvoorbeeld machtswetten voor de relatie tussen de grootte van een stad en het aantal benzinstations, het inkomen, de welvaart en de misdadigheid. Voor een verklaring verwijst hij naar relationele netwerken die een kenmerk zijn van alle leven. Het is ons inziens belangrijk om daarbij specifiek de materie, energie en informatiestromen te beschouwen die het leven in de stad mogelijk maken.

Schaalinvariantie vormt ook de basis van dimensionele analyse. Zoals we reeds in het middelbaar onderwijs leerden, moeten wetten dimensioneel homogeen zijn. De dimensies van de grootheden die in de wiskundige formulering van een wet voorkomen zijn op elkaar afgestemd en "men kan

⁵⁶ Richard Dawkins, *Het toppunt van onwaarschijnlijkheid*, Amsterdam / Antwerpen, Contact, 1996, blz. 74.

⁵⁷ Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/Zipf%27s_law

⁵⁸ Zie: <http://en.wikipedia.org/wiki/Allometry>

⁵⁹ Zie: http://www.ted.com/talks/geoffrey_west_the_surprising_math_of_cities_and_corporations.html

geen appels en peren gelijkstellen en met elkaar optellen".⁶⁰ Een mooi voorbeeld is de wet van Einstein die het verband tussen de energie van een deeltje, zijn massa en de lichtsnelheid weergeeft: $E = m c^2$. Dimensioneel uitgedrukt geldt immers: $M.L^2.T^{-2} = M \cdot [L.T^{-1}]^2$.

Dimensionele analyse bezorgt ons niet alleen een 'trucje' om te controleren of formules correct zijn, maar laat eveneens toe om soms zeer complexe problemen op te lossen. Dit is bijvoorbeeld het geval voor het modelleren van stromingsverschijnselen. Schaalinvariantie verklaart de 'mooie' wiskundige vorm waarin de natuurwetten kunnen worden geformuleerd.⁶¹

Dimensionele analyse zegt ook iets over emergentie. Emergente wetten ontsnappen niet aan de eis van dimensionele homogeniteit. In een micro-reductionistische visie verschijnen geen nieuwe fundamentele dimensies in de hogere lagen van de werkelijkheid. Hun dimensies moeten tot de fundamentele dimensies van de fysica kunnen worden herleid (bijvoorbeeld lengte, massa, tijd en temperatuur). Het is zeer twijfelachtig of we er ooit in zullen slagen om bijvoorbeeld de dimensies van geld in de dimensies van de fysica uit te drukken. Dimensionele analyse levert een belangrijk argument voor het bestaan van de sterke vorm van emergentie. Op basis van dimensionele beschouwingen besluit Stephen Jay Kleine dat noch het 'bottom-up' determinisme noch het 'top-down' determinisme waar kunnen zijn.⁶² Het emergentieprobleem zou dus niet kunnen worden opgelost door op een andere reductionistische manier naar de werkelijkheid te kijken.

In de werkelijkheid is niet alles toegelaten. De wetten leggen beperkingen op, maar zijn zelf ook aan beperkingen onderhevig. Bepaalde situaties zijn immers fysisch onmogelijk. Wat uitgesloten is wordt ook bepaald door 'no-go theorema's' ('gaat-niet-stellingen').⁶³ Een voorbeeld hiervan is het onzekerheidsprincipe van Heisenberg in de kwantummechanica. De plaats en de hoeveelheid beweging kunnen niet tegelijkertijd exact vastgelegd worden. 'No-go' stellingen laten ook toe om het domein waarin emergente wetten kunnen opduiken te beperken. Een onvolledigheidsstelling voor de fysica zou de vorm van een 'no-go' stelling kunnen aannemen. Er wordt bijvoorbeeld met een 'no-go' stelling aangetoond dat de biochemie niet in staat is om de emergentie van biologische vormen ('morfogenese') volledig te verklaren. Een bijkomend fundamenteel nieuw principe is noodzakelijk.⁶⁴

Het emergentiebegrip duidt op het probleem dat kan ontstaan bij het afleiden van de stellingen van een theorie uit de als fundamenteel beschouwde definities en wetten. We hebben getracht om dit probleem in te perken door de micro-reductionistische visie aan te vullen met twee complementaire visies. Een andere mogelijkheid wordt door het gebruik overkoepelende theorieën geboden.

6. Overkoepelende theorieën

⁶⁰ Zie: http://nl.wikipedia.org/wiki/Dimensie_van_een_grootheid

⁶¹ Empirische wetten en wiskundige modellen zijn niet noodzakelijk dimensioneel homogeen. Merk ook op dat eenheden geen rol spelen in de wiskunde.

⁶² Stephen Jay Kline, *Conceptual Foundations for Multi-disciplinary Thinking*, Stanford University Press, 1995, p. 124-126, 128.

⁶³ Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/No-go_theorem

⁶⁴ *We need a fundamentally new, information-carrying principle to understand biological information and biological order*. In: Søren Ventegodt, Tyge Dahl Hermansen, Trine Flensburg-Madsen, Maj Lyck Nielsen, Birgitte Clausen en Joav Merrick, *Biochemistry Unable to Explain the Emergence of Biological Form (Morphogenesis) and Therefore a New Principle as Source of Biological Information is Needed*, The Scientific World JOURNAL (2006) 6, 1359–1367. Zie: http://www.livskvalitet.org/pdf/TSWJ2006%20Human_Development_V_Biochemistry_unable_to_explain_morphogenesis.pdf

Overkoepelende theorieën zijn zeer algemeen toepasbaar en bijzonder geschikt voor het ontwikkelen van een 'top-down' visie op de werkelijkheid. Het systeemdenken is een voorbeeld van een algemene benadering die de specialisaties overstijgt. In de ingenieurswetenschappen is de systeemtheorie zeer succesvol, in het bijzonder in de regeltechniek.

In de systeemtheorie beschouwt men de werkelijkheid als een systeem bestaande uit een aantal interagerende 'black boxes'. Een 'black box' of zwarte doos is dan een deel van het universum dat met zijn omgeving in wisselwerking is via 'inputs' (ingangen) en 'outputs' (uitgangen). De 'black box' wisselt materie, energie en/of informatie uit met de buitenwereld. Het inwendige van de 'black box' is onbekend of wordt bewust niet in detail beschouwd. Om het tijdsafhankelijk gedrag te bestuderen wordt het toestandsbegrip ingevoerd. De toestandsvariabelen kenmerken de inwendig opgeslagen materie, energie en/of informatie.

Een 'black box' kan ook als een systeem beschouwd worden dat uit een aantal onderling verbonden deelsystemen bestaat. Om de werking van een systeem te verklaren wordt het in opeenvolgende stappen opgesplitst in eenvoudige deelsystemen. Bij complexe systemen zoals bedrijfsorganisaties geeft men daarbij meestal de voorkeur aan een hiërarchische ontbinding (gestructureerde decompositie). Na de analyse volgt een synthese waarbij de verbindingen terug ingevoerd worden. Volgens de systeemtheorie zijn het de verbindingen die de meerwaarde van een systeem ten opzichte van de optelsom van zijn deelsystemen bepalen.

In de ingenieurswetenschappen beschouwen we ook netwerken en structuren. Het gaat om systemen waarbij de variabelen in paren van door- en over-veranderlijken voorkomen.⁶⁵ Bij elektrische netwerken hebben we bijvoorbeeld met stromen en spanningen te doen en bij mechanische structuren met krachten en verplaatsingen en met momenten en rotaties.⁶⁶ Deze paren van veranderlijken maken het mogelijk om een energiebegrip te definiëren. Dit is ook het geval in andere domeinen van de exacte wetenschap. Het energiebegrip vormt dan de schakel tussen de verschillende disciplines. Door de algemeenheid van het energiebegrip kunnen we de thermodynamica, die omzetting van vormen van energie bestudeert, als de voorloper van de systeemtheorie beschouwen.

Het energiebegrip maakt het ook mogelijk om de verschillende takken van de exacte wetenschap met elkaar in verband te brengen en analogieën te onderkennen.⁶⁷ Men beschouwt bijvoorbeeld elektrische stromen als analoog voor mechanische krachten en elektrische spanningen als analoog voor mechanische vervormingen. Onder meer in de bondgraaf methode ('bond graph method') wordt van dergelijke analogieën gebruik gemaakt om het gedrag van multidisciplinaire systemen af te leiden. Er zijn zelfs pogingen om een energiebegrip in de economie te definiëren en behoudswetten af te leiden. Mirowski spreekt dan zelfs van economie als 'sociale fysica' en van fysica als 'economie van de natuur'.⁶⁸ 'Energie' wordt dikwijls en in diverse domeinen als metafoor gebruikt.

Het energiebegrip laat ook toe om algemene uitspraken over een geheel te doen. De entropiewet, die de toename van entropie in een gesloten systeem poneert, kan bijvoorbeeld op het heelal

⁶⁵ Dit is het domein van de algemene n-poort theorie of multipoort theorie.

⁶⁶ Netwerken kennen alleen een topologie, structuren ook een geometrie.

⁶⁷ Meer over analogieën is te vinden in: Hubert Van Belle: *The structure of reality: A modern technical-scientific vision*, Presented at the International Conference on: *The Interplay between Philosophy, Science and Religion: The European Heritage*, K.U.Leuven, November 18-21, 1998, zie:

http://www.vub.ac.be/CLEA/dissemination/groups-archive/vzw_worldviews/publications/vanbelle-real.html

⁶⁸ David Gordon, *More Heat Than Light: Economics as Social Physics, Physics as Nature's Economics*, *The Review of Austrian Economics*, Vol. 5, No. 1. Zie: http://mises.org/journals/rae/pdf/RAE5_1_7.pdf

toegepast worden. De energetische methodes zijn zeer krachtig en kunnen bij de studie van complexe en niet-lineaire systemen gebruikt worden. Ze leveren ook resultaat op in gevallen die anders praktisch onoplosbaar zijn. De in de ingenieurswetenschappen veel toegepaste 'eindige elementen methode' ('finite element method')⁶⁹ is bijvoorbeeld voor sterkteberekeningen op energetische beschouwingen gebaseerd.

We hebben reeds op energiestellingen zoals de wet van behoud van energie gewezen. Een onterecht weinig bekende energiestelling is de stelling van Tellegen.⁷⁰ Volgens deze stelling moet de aan een elektrisch netwerk toegevoerde energie in de elementen terug te vinden zijn. De stelling van Tellegen drukt een behoudswet uit i.v.m. de verdeling van energie over de delen van een netwerk: de door de bronnen toegevoerde energie is volledig in de passieve elementen terug te vinden. Men stelt dus in deze schijnbaar evidente stelling dat de energiebalans sluitend is en dat de verbindingen geen energie opnemen. De stelling van Tellegen is op de wetten van Kirchhoff gebaseerd.⁷¹

Hoewel ze eenvoudig is en gemakkelijk bewezen kan worden, beschouwen we de stelling van Tellegen als de basisstelling van de ingenieurswetenschappen. Ze is zeer algemeen en kan in uiteenlopende domeinen toegepast worden. Abstract geformuleerd drukt de stelling van Tellegen de orthogonaliteit (loodrechtheid) uit van de vectoren die de door- en over-veranderlijken kenmerken. Deze vorm van de stelling kan als axioma van de energetische methodes gekozen worden. De stelling van Tellegen leidt onder meer tot variationele principes, het streven naar een minimum van bepaalde energetische functies.

Het is ook mogelijk om uitgaande van de stelling van Tellegen aan te tonen dat de energie in een elektrisch netwerk niet vroeger gedissipeerd kan worden dan dat de energie toegevoerd werd.⁷² Deze vertraging wijst op causaliteit, een asymmetrie, die dus uit een behoudswet, een symmetrie, volgt. Dit zou er op kunnen wijzen dat men de asymmetrieën uit symmetrieën kan afleiden. Dit is een van de fundamentele vragen die Leo Apostel zich stelde.

Het meest succesvolle domein van de systeemtheorie is wel de regeltechniek of cybernetica. Een verwarmingsinstallatie met een kamerthermostaat is een eenvoudig voorbeeld van een regeltechnische toepassing. Regelsystemen worden gekenmerkt door een terugkoppeling ('feedback'). Door het terugvoeren van informatie van de 'output' naar de 'input' van een systeem en door de reële 'output' met een gewenste 'output' te vergelijken, tracht men het gedrag van het systeem te beheersen. Het terugkoppelingmechanisme zorgt ervoor dat het verschil tussen de bestaande en gewenste output geminimaliseerd wordt. De afwijkingen die tengevolge van storingen optreden, worden ook door het regelsysteem bijgestuurd. Daartoe is echter vereist dat het om een negatieve terugkoppeling of tegenkoppeling gaat die een stabiliserend effect heeft. Een positieve terugkoppeling of meekoppeling leidt daarentegen tot onstabieleit. In dit geval volstaat een kleine storing om het systeem tot een ongecontroleerd gedrag te brengen. Een voorbeeld hiervan is een 'rondfluitende' geluidsinstallatie.

⁶⁹ Zie: <http://nl.wikipedia.org/wiki/Eindige-elementenmethode>

⁷⁰ Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/Tellegen%27s_theorem

⁷¹ Op hun beurt kunnen de stroom- en spanningwet van Kirchhoff uit symmetrieën of invarianties afgeleid worden. Zie:

http://www.vub.ac.be/CLEA/dissemination/groups-archive/vzw_worldviews/publications/kirchhoff.pdf

⁷² Zie: Paul Penfield Jr., Robert Spence en Simon Duinker, *Tellegen's Theorem and Electrical Networks*, Research Monograph No. 1, Cambridge Massachusetts, The MIT Press, 1970, p. 39 en 45.

In verschillende wetenschappen worden terugkoppelingsmechanismen onderkend.⁷³ Een mooi voorbeeld uit de fysiologie is de 'homeostase', het regelsysteem dat onder meer de lichaamstemperatuur in wijzigende omstandigheden constant tracht te houden.⁷⁴ Hierdoor kunnen levende wezens in een vrij brede zone van omgevingsvoorwaarden blijven functioneren. Terugkoppelingsmechanismen bewaren evenwichten en houden organismen in stand. Ook bij het besturen van een voertuig of het leiden van een organisatie speelt feedback een belangrijke rol. Telkens als er iets geregeld, gestabiliseerd, gecontroleerd, bestuurd of beheerst moet worden hebben we met terugkoppelingen te doen. De terugkoppelingen streven dan een opgelegde norm of doel na. Feedback kan dan ook in verband gebracht worden met doelgerichtheid en teleologie.

Een terugkoppeling wordt slechts actief indien de opgelegde norm niet gerespecteerd wordt. Wil men zoveel mogelijk problemen vermijden dan moet men ook direct op de optredende storingen zelf reageren en niet alleen op het effect dat ze met vertraging veroorzaken. Men spreekt dan van voorwaartskoppeling ('feed forward')⁷⁵. Deze techniek wordt bijvoorbeeld toegepast bij centrale verwarmingen met een buitenthermostaat. Ook het gebruik van modellen maakt het mogelijk om problemen te voorkomen. Modellen bieden immers de mogelijkheid om het effect van een actie te voorspellen en optimale oplossingen voor te stellen. Indien men bovendien uit de ervaring leert en de modellen aan de gewijzigde omstandigheden aanpast bekomt men een lerend en adaptief systeem. Een dergelijk systeem bereikt de grenzen van het kunnen.

Zoals we reeds opmerkten kunnen terugkoppelingskringen ('feedback loops') zowel een stabiliserend als een destabiliserend effect hebben. Beide effecten spelen een rol tijdens het evolutieproces. We kunnen immers periodes van stabiliteit onderscheiden die door fases van transitie onderbroken worden. De stabiele toestanden worden dan verstoord en het evolutieproces belandt in onstabiele toestanden waarin positieve feedback domineert. Na de overgangsfase komt men vervolgens in nieuwe stabiele toestanden terecht waarin negatieve feedback de overhand haalt.

Een andere overkoepelende theorie volgt uit het darwinisme. De evolutietheorie blijkt in uiteenlopende takken van de wetenschap doorgedrongen te zijn. In de evolutionaire psychologie wordt bijvoorbeeld een beroep gedaan op de evolutietheorie om de psychologische kenmerken van de mens te 'verklaren'. Deze ontwikkeling leidt tot een evolutionaire theorie, een algemene theorie van de verandering.⁷⁶ Men ziet overal variatie en selectie plaats vinden. Bovendien wordt aan het toeval een grote rol toegekend. Het gevaar bestaat dat men te pas en te onpas het toeval inroept. In de wetenschap wordt het toeval dikwijls ingeroepen als een onderliggende verklaring ontbreekt. Soms wordt dan ook van een 'leken-mirakel' gesproken.

Een enigszins verwante algemene benadering bestaat uit het invoeren van generieke modellen en theorieën. Men neemt zeer algemene concepten aan als uitgangspunt voor het modelleren van de werkelijkheid en daalt door het beschouwen van bijzondere gevallen van het complexe naar het eenvoudige af. In de informatica maakt men veel gebruik van generieke methodes. Men ontwikkelt programma's die zonder herprogrammeren toepasbaar zijn voor een klasse van verwante problemen. Dit is bijvoorbeeld het geval voor 'objecten' in het object georiënteerd programmeren⁷⁷

⁷³ Zie: <http://nl.wikipedia.org/wiki/Feedback> of: <http://en.wikipedia.org/wiki/Feedback>

⁷⁴ Zie: http://nl.wikipedia.org/wiki/Homeostase_%28fysiologie%29 of:
<http://en.wikipedia.org/wiki/Homeostasis>

⁷⁵ Zie: <http://nl.wikipedia.org/wiki/Voorwaartskoppeling> of:
http://en.wikipedia.org/wiki/Feed_forward_%28control%29

⁷⁶ Clément Vidal, *Wat is een wereldbeeld*, in: Hubert Van Belle en Jan Van der Veken (red.), *Nieuwheid denken. De wetenschappen en het creatieve aspect van de werkelijkheid*, Leuven / Voorburg, Acco, 2008, p. 82.

⁷⁷ Zie: <http://nl.wikipedia.org/wiki/Objectgeori%C3%ABnteerd>

('object oriented programming'). Ook intelligente 'agents'⁷⁸ of 'holons' zijn voorbeelden van het generisch concept die in de ingenieurswereld toegepast worden.

Andere voorbeelden van generieke benaderingen zijn in de filosofie en metafysica te vinden. De menselijke ervaringen en de mens worden als generieke begrippen en modellen naar voor geschoven. "Voelen en gevoeld worden"⁷⁹ kan men bijvoorbeeld zien als een veralgemeende vorm van het relatiebegrip uit de exacte wetenschap. De (levenloze) materie wordt soms beschouwd als een bijzonder geval van levende wezens. Deze visies houden het gevaar van antropomorfisme in. Dit probleem kan vermeden worden door van een potentialiteit of van een voorafschaduwning te spreken. De (levenloze) materie houdt mogelijkheden in tot het vormen van levende wezens. Men stelt bijvoorbeeld ook dat er een voorafschaduwning van de logos in de lagere lagen van de werkelijkheid terug te vinden is. De 'feedback'-mechanismen in de fysische en biologische lagen van de werkelijkheid leiden tot een gedrag dat als een voorafschaduwning van menselijke doelgerichtheid kan worden beschouwd.

Tot slot kunnen we ook verwijzen naar algemene principes. We hebben reeds gewezen op het principe van kleinste werking. Een ander belangrijk principe, het afwijzen van het perpetuum mobile (de eeuwigdurende beweging), leidt naar de tweede hoofdwet van de thermodynamica. Simon Stevin gebruikte dit principe om met een gedachte-experiment de regel van het krachtenparallellogram voor het evenwicht van krachten te bewijzen.⁸⁰ Bepaalde principes blijken ook een ruimer toepassingsdomein te hebben dan waarin ze oorspronkelijk toegepast werden. Dit is bijvoorbeeld het geval voor het onzekerheidsprincipe van Heisenberg uit de kwantummechanica. Een analogo principe vinden we onder meer ook in de akoestiek (geluidsleer) terug.

Er bestaan ook nog een aantal op ervaring gebaseerde algemene principes. Voorbeelden hiervan zijn de "wet van behoud van ellende" en het vergelijkbare "There's no such a thing as a free lunch". Voordelen gaan steeds gepaard met nadelen. Een ander voorbeeld is de 'wet' van Murphy: "Als iets fout kan gaan, dan zal het ook fout gaan". Een sterkere formulering luidt: "Alles wat kan gebeuren, zal gebeuren".

7. Het unieke, niet-repetitieve

Tot nu toe hebben we vooral aandacht gehad voor het emergentiebeprip en het opduiken van nieuwe wetten in de hogere lagen van de werkelijkheid. De opeenvolgende symmetriebrekingen tijdens het evolutieproces leiden echter niet alleen tot een toenemende complexiteit maar ook tot meer variatie.⁸¹ In de hogere lagen van de werkelijkheid maakt de groeiende diversiteit het dan ook moeilijker om wetten te onderkennen en voorspellingen te doen, bijvoorbeeld van sociologische wetmatigheden.

Zoals we reeds schreven richt de exacte wetenschap zich op terugkerende patronen, verschijnselen en dingen die zich in ruimte en tijd herhalen. De unieke en niet-repetitieve aspecten van de werkelijkheid liggen eigenlijk buiten het strikt wetenschappelijk domein dat het bestaan van experimenteel toetsbare (en dus herhaalbare) wetmatigheden aanneemt. Bij de indeling in lagen en sublagen hebben we in '*Nieuwheid denken*' gesteld dat het hiërarchisch structureren en

⁷⁸ Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/Intelligent_agent

⁷⁹ Bij Merleau- Ponty.

⁸⁰ Hij ging er van uit dat men met een bollenkrans om twee hellende vlakken geen perpetuum mobile kon construeren hoewel dit toch mogelijk scheen.

⁸¹ Dit wordt verduidelijkt door het '*Tree of Knowledge System*'. Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/Tree_of_Knowledge_System

onderscheiden van de psychocognitieve, sociale en culturele lagen een moeilijke zaak is.⁸² Ze vormen immers eerder een verweven netwerk en zijn nauwelijks afzonderlijk te beschouwen. We kunnen ons afvragen of het unieke en niet-repetitieve ook geen grote rol speelt in de hogere lagen die daardoor een ander karakter krijgen dan de onderliggende lagen.

Er lijkt ook een verband te bestaan tussen niet-repetitieve verschijnselen en sterke emergentie zoals bijvoorbeeld bij het ontstaan van het leven en het bewustzijn. Waren dit unieke gebeurtenissen die helemaal niet meer herhaalbaar zijn? Kan het optreden van eenmalige gebeurtenissen door herhaalbare wetten verklaard worden? Onttrekken deze gebeurtenissen zich volledig aan de natuurwetten⁸³? Of kunnen ze niet meer terug optreden omdat ze het resultaat zijn van een onwaarschijnlijk samenvallen van toevalligheden⁸⁴ of omdat de vereiste voorwaarden tengevolge van de evolutie niet meer bereikbaar zijn? Dit laatste zou het gevolg kunnen zijn van de 'explosie' van opeenvolgende symmetriebrekingen die de vroegere toestanden onbereikbaar maken.

Niet-repetitiviteit gaat samen met onvoorspelbaarheid. Een mooi voorbeeld van niet-repetitiviteit in de wiskunde kunnen we bij de studie van irrationale getallen vinden. In de reeks van opeenvolgende decimale cijfers van π (3,14159265358979323846...) zijn er blijkbaar geen terugkerende patronen te bespeuren.⁸⁵ Hoewel dezelfde cijfers ogenschijnlijk even frequent voorkomen, kunnen we geen periodiciteit in de reeks cijfers ontdekken. Het is dus onmogelijk om een volgend decimaal cijfer van het getal π af te leiden uit de vorige cijfers.

Op basis van het al dan niet optreden van repetitiviteit kunnen we een onderscheid maken tussen de nomothetische en idiografische methode voor het beschrijven van de werkelijkheid.⁸⁶ In de nomothetische methode laat de studie van de repetitieve verschijnselen het toe om algemene conclusies te trekken en wetten te ontdekken. Dit is vooral het geval voor de laagste lagen van de werkelijkheid en in de exacte wetenschappen. De ideografische methode richt zich op het unieke gedrag en eenmalige gebeurtenissen.⁸⁷ Deze methode is vooral bruikbaar in de menswetenschappen en voor de hogere lagen van de werkelijkheid. In dit domein blijven beschrijvingen dikwijls de enige mogelijkheid en is van betrouwbare voorspellingen weinig of geen sprake.

Interessant in dit verband is het standpunt van Karl Popper over het historisme als doctrine in de sociale wetenschappen.⁸⁸ Hij betwijfelt onder meer of het mogelijk is om revoluties te voorspellen zoals dit met zonsverduisteringen kan. In de sociale wetenschappen heeft men niet met strikte wetmatigheden maar met vage regels te doen en is men dikwijls op statistische benaderingen aangewezen. Popper wijst historische voorspellingen af maar ziet wel mogelijkheden om vast te leggen wat niet kan.⁸⁹

⁸² Hubert Van Belle, *De gelaagde structuur van de werkelijkheid*. Hubert Van Belle en Jan Van der Veken (red.), *Nieuwheid denken. De wetenschappen en het creatieve aspect van de werkelijkheid*, Leuven / Voorburg, Acco, 2008, p. 22-23.

⁸³ In religieuze termen heeft men het over wonderen of mirakels.

⁸⁴ Men kan in dit geval van 'lekenmirakels' spreken.

⁸⁵ Dit kon nog niet bewezen worden. Veel wiskundigen nemen echter aan dat de decimale cijfers van π (Pi) 'at random' (toevallig, lukraak) voorkomen.

⁸⁶ Zie: http://nl.wikipedia.org/wiki/Nomothetische_en_idiografische_methode

⁸⁷ Men heeft het soms ook over de 'science of unique events'.

⁸⁸ Zie: <http://keidahl.terranhost.com/Fall/HIS3104/Popper%20Prediction%20and%20Prophecy.pdf>

⁸⁹ *The second law of thermodynamics can be expressed as the technological warning, "You cannot build a machine which is 100 per cent efficient." A similar rule of the social sciences would be, "You cannot, without increasing productivity, raise the real income of the working population."*

Met de boeken van Nassim Nicholas Taleb zijn zeldzame en moeilijk te voorspellen gebeurtenissen met een grote impact in de belangstelling gekomen.⁹⁰ Het gevolg van deze 'zwarte zwanen' wordt meestal onderschat en ze spelen een dominante rol in de geschiedenis. De mensen blijken ook blind te zijn voor 'zwarte zwanen', hun waarschijnlijkheid is zeer klein en ze worden niet door een normale verdeling maar door een machtswet gekenmerkt. Didier Sornette voerde het begrip 'dragon-king' ('drakenkoning') in voor de uitschieters t.o.v. de machtswet-verdeling.⁹¹ Parijs is een voorbeeld van een 'dragon-king' in de statistische verdeling van Franse steden.

8. De intelligente observator

De mens kan als een deel van het universum beschouwd worden dat op een intelligente wijze met zijn omgeving interageert en zijn gedrag aan de ontwikkelingen in de buitenwereld aanpast. Hij is het resultaat van een evolutieproces en doorloopt een levenscyclus. De mens behoort tot het 'systeem' en treedt op als observator en actor. Als intelligent wezen zou hij op een gepaste en doelmatige manier moeten reageren op relevante informatie.

We kunnen ons afvragen of het wel mogelijk is om de mens alleen als een passieve observator te beschouwen die zich een objectief beeld van een deel van werkelijkheid kan vormen. Kan hij dit deel los van zijn omgeving te bestuderen en dit zonder het te verstoren? Om op deze vraag te antwoorden kunnen we opmerken dat:

- een deel niet los kan gezien worden van het groter geheel en dus eigenlijk een abstractie is⁹²;
- de eigenschappen van een deel niet kunnen bepaald worden zonder interactie met andere delen;
- volgens de kwantummechanica het observatieproces invloed heeft op het geobserveerde fenomeen.

De observator mag dus niet uit zijn omgeving weggedacht worden.

In de klassieke fysica wordt van het observatoreffect gesproken.⁹³ Men neemt aan dat dit effect zeer beperkt en verwaarloosbaar is of door bepaalde berekeningsmethodes gecompenseerd kan worden. Volgens de Kopenhaagse interpretatie van de kwantummechanica is dit echter niet het geval op het kwantumniveau. Door een meting veroorzaakt de observator blijkbaar een collaps (ineenstorting) van de golf functie.⁹⁴ De toestand van een elementair deeltje zou pas bij de observatie vastgelegd worden. Daarbij geldt ook het onzekerheidsprincipe van Heisenberg.⁹⁵ De plaats en de hoeveelheid beweging van een elementair deeltje kunnen niet samen nauwkeurig bepaald worden. Het onzekerheidsprincipe is een gevolg de golfnatuur van de kwantumdeeltjes.⁹⁶

Als actor vertoont de mens een doelgericht gedrag. Hij tracht in de buitenwereld in te grijpen en zijn omgeving te beïnvloeden om zo zijn verlangens en dromen waar te maken. Daartoe moet de mens problemen oplossen⁹⁷ om de kloof tussen de werkelijke en gewenste situatie dicht te maken. Hierin kan men

⁹⁰ Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/Black_swan_theory

⁹¹ Didier Sornette, *Dragon-Kings, Black Swans and the Prediction of Crises*, International Journal of Terraspace Science and Engineering. Zie: <http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/0907/0907.4290.pdf>

⁹² Niels Bohr stelde: "*Isolated material particles are abstractions, their properties being definable and observable only through their interaction with other systems.*" Zie: http://en.wikiquote.org/wiki/Niels_Bohr

⁹³ Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/Observer_effect_%28physics%29

⁹⁴ Zie: http://nl.wikipedia.org/wiki/Ineenstorten_van_de_golf functie of: http://en.wikipedia.org/wiki/Wave_function_collapse

⁹⁵ Zie: http://nl.wikipedia.org/wiki/Onzekerheidsrelatie_van_Heisenberg of: http://en.wikipedia.org/wiki/Uncertainty_principle

⁹⁶ Het onzekerheidsprincipe speelt ook in andere domeinen zoals bijvoorbeeld de geluidsluur.

⁹⁷ "*All Life is Problem Solving*". Dit citaat is de titel van een boek van Karl Popper (Routledge, New York, 1999).

een terugkoppelingsmechanisme onderkennen. Door het ingrijpen van de mens wordt een veranderingsproces op gang gebracht dat pas stopt als het doel bereikt is en de bestaande situatie met de gewenste situatie overeenstemt. De mens en zijn gedrag worden ook door de buitenwereld beïnvloed. Hij is niet alleen het resultaat van het evolutieproces maar past zich ook aan de voortdurend wijzigende omstandigheden aan. Hij observeert de buitenwereld, leert uit ervaring en actualiseert zijn modellen indien ze niet meer correct zijn. De mens is een schitterend voorbeeld van een lerend en adaptief systeem.

Dat de mens bestaat zegt iets over de evolutie en de werkelijkheid. Volgens een zwakke vorm van het antropisch principe dient de aard van de werkelijkheid zo te zijn dat de mens kon ontstaan. Dit betekent echter nog niet dat de mens moest ontstaan zoals in het sterk antropisch principe gesteld wordt. Het bestaan van de mens geeft een beeld van de evolutiemogelijkheden van de werkelijkheid. De werkelijkheid heeft de potentie om een intelligente en doelgerichte mens te verwezenlijken. Dit geldt uiteraard ook voor andere wezens. Een vorm van het antropisch principe stelt ook dat het universum compatibel moet zijn met bewust leven waardoor het geobserveerd wordt.⁹⁸

De mens mag niet uit de werkelijkheid weggedacht worden. Een wereld zonder intelligente observator kan immers niet zinvol gedacht worden. Inderdaad, we kunnen stellen dat:

- de mens deel uitmaakt van de werkelijkheid en met zijn omgeving interageert;
- de mensen een beeld opbouwen van de werkelijkheid door zichzelf en de buitenwereld te observeren;
- ook het denken van de mens deel uitmaakt van de werkelijkheid;
- de werkelijkheid niet kenbaar is zonder intelligente observator;
- de mensen zich een virtuele werkelijkheid gecreëerd hebben met een beeld van de reële werkelijkheid;
- de gedachte aan een beeld in de virtuele werkelijkheid over een reële werkelijkheid zonder mensen, waarin deze virtuele werkelijkheid dus niet bestaat, zinledig is;⁹⁹
- over een werkelijkheid zonder intelligente observator niets zinvol gezegd kan worden;
- een werkelijkheid zonder intelligente observator geen betekenis heeft.

Einstein gaat nog verder. Hij stelt dat een reële externe wereld zinloos zou zijn zonder zijn begripbaarheid.¹⁰⁰

9 . De diepere aard

In de vorige punten hebben we een aantal merkwaardige vaststellingen gedaan die ons misschien dichter bij de diepere aard en de 'verborgen agenda' van de werkelijkheid kunnen brengen. We hebben gewezen op:

- de mysterieuze intelligibiliteit van de werkelijkheid;
- het bestaan van wetten in de natuur;
- de onredelijke effectiviteit van de wiskunde;
- de mogelijkheden die symmetrieën of invarianten bieden:
 - tot objectieve kennis en inductieve veralgemening;
 - voor het afleiden van natuurwetten uit eerder kwalitatieve beschouwingen;
 - om regels vast te leggen waaraan de formulering van natuurwetten moet voldoen;
 - tot een informatiereductie;

⁹⁸ Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/Anthropic_principle . Naast verschillende varianten van het antropisch principe worden ook enkele voorbeelden van 'antropisch redeneren' besproken.

⁹⁹ Deze bewering komt overeen met "denken dat de mens er niet is". Daar het denken immers de mens veronderstelt, is deze uitspraak zinloos. "Denken dat men niet denkt" is eveneens een betekenisloze uitspraak.

¹⁰⁰ Zie: http://en.wikiquote.org/wiki/Albert_Einstein

- het succes van de systeemtheorie en de 'black box' benadering;
- de algemeenheid van energetische benaderingen die gebaseerd zijn op behoudswetten en variationele principes;
- de analogieën tussen verschillende takken van de wetenschap;
- terugkoppelingsmechanismen in verschillende lagen van de werkelijkheid;
- algemene principes zoals de onmogelijkheid van een 'perpetuum mobile' en het zwak antropisch principe.

Het bestaan van orde duidt op in ruimte en tijd terugkerende patronen. We kunnen dus een vorm van redundantie onderscheiden die het onderkennen van wetten en symmetrieën mogelijk maakt en tot een compacte en verstaanbare beschrijving van de werkelijkheid leidt.

Merk op dat fysische wetten niet ontweken kunnen worden. De vage regels die van toepassing zijn op de hogere niveaus van de werkelijkheid daarentegen wel. De natuur houdt echter "een stok achter de deur". De mens dient een aantal spelregels te respecteren, zoniet, dan keren zijn interventies zich tegen hem. Wie deze regels schendt, wordt op korte of lange termijn als individu of als groep afgestraft.¹⁰¹ Dit is bijvoorbeeld het geval met de plicht om het leven te beschermen, ook in zijn zwakke en kwetsbare vorm. Het negeren van deze regel heeft een zelfdestructief karakter. We kunnen ook verwijzen naar taboes zoals incest en het gevaar voor erfelijke ziekten bij inteelt.

Neo-darwinisten zullen de begrijpbaarheid van de werkelijkheid vanuit een evolutieer trachten te 'verklaren'. Dat een levend wezen in staat is om de werkelijkheid in betrouwbare beelden te vatten levert inderdaad een concurrentieel voordeel ('competitive advantage') op in de strijd om het voortbestaan. Ze maken het bijvoorbeeld voor de mens mogelijk om de gevolgen van zijn daden vooraf in te schatten. Een dergelijke uitleg is echter als 'verklaring' onbevredigend. 'Survival of the fittest' verklaart immers niet de potentialiteit van de werkelijkheid om intelligente wezens mogelijk te maken en te laten ontstaan.

Een intelligente observator is niet alleen een deel van de werkelijkheid die zich een adequaat beeld tracht te vormen van de buitenwereld. Er blijkt ook een zeker verband te bestaan tussen de voorwaarden om kennis mogelijk te maken en de eigenschappen van de werkelijkheid. Ze kunnen niet los van elkaar gezien worden. Er verscheen immers een observator in het universum dat zo is dat het door deze observator begrepen kan worden. Dat de werkelijkheid begrijpbaar is, is een belangrijke vaststelling.

Om begrepen te kunnen worden mag de werkelijkheid niet louter chaotisch¹⁰² zijn en moet men in de werkelijkheid terugkerende patronen en wetten kunnen ontdekken. We mogen bovendien stellen dat de wetten van de natuur moeten beantwoorden aan de voorwaarden die voor wetten gelden. Ze dienen algemeen te zijn en voor verschillende observatoren en op verschillende tijdstippen te gelden als de omstandigheden overeenstemmen. Daarom moeten ze aan bepaalde invariantieregels voldoen. Het gaat om symmetrieën die objectieve kennis en inductieve veralgemening mogelijk maken. Ze leiden tot wetten die werkelijk in het universum blijken te gelden.

De werkelijkheid is dus zo dat alle observatoren zich eenzelfde beeld ervan kunnen vormen. We stellen ook vast dat de werkelijkheid niet louter chaotisch is en dat de mens er terugkerende patronen en wetten in kan ontdekken. Dit maakt de werkelijkheid begrijpbaar. Er kan bijgevolg gesteld worden dat de werkelijkheid zo is dat ze door de mens begrepen kan worden. Het is zelfs alsof de werkelijkheid eigenschappen moet hebben die haar kenbaar maken.

¹⁰¹ Dit wordt soms 'immanente rechtvaardigheid' genoemd.

¹⁰² Chaotisch in de zin van zonder enige orde.

Merkwaardig in verband met de relatie tussen de mens en de werkelijkheid is ook de 'vrije wilstelling' van Conway en Kochen. Deze wiskundigen tonen aan dat als experimentatoren over een vrije wil beschikken, elementaire deeltjes in sommige situaties een strikt onvoorspelbaar gedrag vertonen.¹⁰³ Hiermee is echter nog niet bewezen dat de subatomaire wereld indeterministisch van aard is. De elementaire deeltjes zouden zich immers via de experimenten als indeterministisch kunnen voordoen. We zijn niet in staat om ons de schimmige kwantumwereld goed voor te stellen en worstelen nog steeds met de interpretatie van de kwantummechanica.

Het zwak antropisch principe kan ook meer algemeen geformuleerd worden. We kunnen stellen dat de werkelijkheid zo is dat ze een universum met karakteristieken van het bestaande universum mogelijk maakt. De wetenschap tracht uitgaande van de eigenschappen van de werkelijkheid het ontstaan en evolueren van het universum te verklaren. Men zoekt de verklaring van deze eigenschappen volledig binnen de werkelijkheid zelf. De werkelijkheid wordt dan als een zichzelf verklarend systeem beschouwd. Bijgevolg zouden we in staat moeten zijn om de eigenschappen van de werkelijkheid uit deze eigenschappen zelf af te leiden!

In een zelfverklarende werkelijkheid moeten de eigenschappen van de werkelijkheid alles kunnen verklaren wat in het universum bestaat. Men neemt in een micro-reductionistische visie aan dat kwantummechanica (of een 'theory of everything') in staat is om de werkelijkheid te verklaren. De vraag die rijst is of de wetenschap die de kwantummechanica is ook op basis van de kwantummechanica verklaard kan worden.

Voor een zelfverklarende werkelijkheid kan bovendien gesteld worden dat de fundamentele eigenschappen van het universum niet anders kunnen zijn dan wat ze zijn. De 'fine tuning' van de fundamentele fysische constanten is bijvoorbeeld zeer opmerkelijk.¹⁰⁴ We kunnen pogen om aan te tonen dat hun waarde niet willekeurig is. Met een dergelijk bewijs verlaten we echter het domein van de natuurwetenschappen. Het bestaan en de aard van de werkelijkheid ontgaat de fysica.¹⁰⁵

Het universum is een evoluerend systeem dat gekenmerkt wordt door behoud en verandering, constructieve en destructieve trends, het ontstaan van orde en chaos, oud en nieuw. Symmetrieën en symmetriebrekingen bieden hier een 'verklaring' voor. Leo Apostel beschouwde deze tegenstelling als een sleutel om de natuur van de globale werkelijkheid te begrijpen.¹⁰⁶ Alfred North Whitehead zag de werkelijkheid als een creatief proces dat tot het ontstaan van nieuwheid leidt.¹⁰⁷ Door de nauwe relatie tussen symmetriebreking en creativiteit te beschouwen konden we in '*Nieuwheid denken*' beide visies met elkaar in verband brengen.

De werkelijkheid lijkt bepaald te worden door zowel structurerende, behoudende, vernieuwende als destructieve 'krachten'. Er blijkt een onvoldaanheid over het bestaande te bestaan. Er heerst een onrust die de status-quo tracht de doorbreken. Symmetriebrekingen maken het mogelijk om de

¹⁰³ Klaas Landsman, *De vrije wilstelling van Conway en Kochen*, NAW 5/10 nr. 4 december 2009. Zie: <http://www.nieuwarchief.nl/serie5/pdf/naw5-2009-10-4-228.pdf>

¹⁰⁴ Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/Fine-tuned_Universe

¹⁰⁵ Niels Bohr stelde: "*It is wrong to think that the task of physics is to find out how nature is. Physics concerns what we can say about nature.*" Zie: http://en.wikiquote.org/wiki/Niels_Bohr

¹⁰⁶ Leo Apostel, *Symmetrie en symmetriebreking: ontologie in de wetenschap, (Schets voor een geheel)*, in: Diederik Aerts, Leo Apostel, Bart De Moor, Staf Hellemaans, Edel Maex, Hubert Van Belle, Jan Van der Veken, *Cirkelen om de wereld. Concrete invullingen van het wereldbeeldenproject*, Kapellen, Pelckmans, 1994, p. 199.

¹⁰⁷ Hubert Van Belle en Jan Van der Veken, *De werkelijkheid als een creatief proces*, in: Hubert Van Belle en Jan Van der Veken (red.), *Nieuwheid denken. De wetenschappen en het creatieve aspect van de werkelijkheid*, Leuven / Voorburg, Acco, 2008, p. 59.

mogelijkheden van de werkelijkheid af te tasten en nieuwe wegen te exploreren. Het bestaande wordt getransformeerd en het nieuwe verdringt het oude. Er ontstaan complexe structuren zoals organismen en organisaties die na een tijd weer vergaan. In elk van de niveaus van de werkelijkheid kunnen we dan ook levenscycli terugvinden. De pijn, het lijden en de dood die ermee gepaard gaan roepen prangende vragen op.

Behoud en verandering zijn eigen aan de werkelijkheid. Spijts de veranderingen blijven er tijdens de evolutie bepaalde grootheden ongewijzigd. De transformaties van materie en energie waarmee de evolutie gepaard gaat moeten aan zekere economische principes voldoen. Het is alsof de natuur een boekhouding bijhoudt van de verdeling van een vast kapitaal aan materie en energie tussen de verschillende entiteiten van de werkelijkheid. Naast de behoudswetten blijken er in de werkelijkheid ook minimum- en maximumprincipes te spelen. Er gelden efficiëntie-eisen voor de transformaties. Het is dan ook niet verwonderlijk dat de fysica soms als een economie van de natuur beschouwd wordt.

De opeenvolgende symmetriebrekingen hebben tijdens de evolutie tot een grote diversiteit aan complexe wezens geleid. Uit het beperkt aantal elementaire bouwstenen van de natuur is een variëteit aan levende wezens ontstaan met nieuwe gedragspatronen. Freeman Dyson stelt dat het universum misschien geconstrueerd is volgens het principe van maximum diversiteit.¹⁰⁸ Het unieke, niet-repetitieve en individuele manifesteerde zich steeds sterker. Dit is een grote uitdaging voor de wetenschappen en in het bijzonder voor de wetenschappen die zich op de mens en zijn gedrag richten. Binnen de grote variëteit kunnen we toch merkwaardige wetmatigheden ontdekken die door de machtswetten beschreven worden.

Voor de verklaring van deze machtswetten werd reeds naar de eis van schaalinvariantie verwezen. Een andere verklaring kan gezocht worden in de 'constructal theory' van Adrian Bejan.¹⁰⁹ Zonder voldoende toevoer van de broodnodige middelen ('resources') kunnen cellen, organen, organismen, levende wezens, organisaties, bedrijven en steden niet blijven voortbestaan. Deze toevoer wordt bepaald door een wet die voor eindige stromingsystemen blijkt te gelden. Om te blijven bestaan (te leven) moet de configuratie van het systeem zo evolueren dat het een grotere en grotere toegang krijgt tot de stromen die er door vloeien.¹¹⁰ De bestaande configuraties worden vervangen door configuraties waarin de stroming globaal gezien gemakkelijker is. Deze wet geeft in feite een algemeen extremaalprincipe weer.¹¹¹ Uit de wet kunnen schaalwetten afgeleid worden die de vorm van machtswetten aannemen.

Steeds weer botsen we op extremaalprincipes die op een vorm van doelgerichtheid wijzen. Het evolutionair proces vertoont een trend van minder naar meer complex. De 'complexificatie' van levenloze materie naar leven en naar zelfbewustzijn kan niet ontkend worden. Het procesdenken

¹⁰⁸ *I do not claim any ability to read God's mind. I am sure of only one thing. When we look at the glory of stars and galaxies in the sky and the glory of forests and flowers in the living world around us, it is evident that God loves diversity. Perhaps the universe is constructed according to a principle of maximum diversity. The principle of maximum diversity says that the laws of nature, and the initial conditions at the beginning of time, are such as to make the universe as interesting as possible. As a result, life is possible but not too easy.* In: *Progress in Religion. A Talk By Freeman Dyson.* Zie: <http://www.edge.org/documents/archive/edge68.html>

¹⁰⁹ Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/Constructal_theory

¹¹⁰ Adrian Bejan and Sylvie Lorente, *The constructal law of design and evolution in nature*, Phil. Trans. R. Soc. B (2010) 365, 1335–1347.

¹¹¹ Volgens Adrian Bejan overkoepelt zijn theorie een aantal (elkaar tegensprekende) 'wetten' die het streven naar een minimum of maximum uitdrukken (zoals minimum energieproductie en maximum energieproductie).

spreekt van een interne teleologie, een van binnenin opgelegde doelgerichtheid.¹¹² Ook levende wezens vertonen onmiskenbaar een doelgerichtheid. Hun gedrag en functioneren wordt gekenmerkt door een zekere oriëntatie en coherentie.

Er zijn sterke aanwijzingen voor het bestaan van een sterke vorm emergentie en het opduiken van echte nieuwheid. Dit is ook het geval voor doelgerichtheid, complexificatie en variatie. Op elk van de niveaus van de werkelijkheid kunnen we structurerings- en organisatievermogen ontdekken. Dit leidt tot een clustering van de materie op de lagere niveaus en het ontstaan van interacties op de hogere niveaus. Het evolutieproces resulteerde in complexe levende wezens zoals de mens. Betekent dit dat mens er moest komen? Het minste wat we kunnen zeggen is dat de werkelijkheid de nodige potentialiteit bezat om een evolutieproces mogelijk te maken dat tot de mens leidde.

De werkelijkheid lijkt een samenspel te zijn van wetmatigheden, toeval en doelgerichtheid. Er is ruimte voor nieuwheid en er groeit diversiteit. Het leven bevindt zich op de rand van de chaos ('edge of chaos'), het grensgebied tussen orde en chaos.¹¹³ Het balanceren op deze rand heeft tot gevolg dat het leven zowel robuust als adaptief is. De werkelijkheid biedt tal van onvermoede mogelijkheden die de mens kan exploreren om te overleven. Dit alles maakt de werkelijkheid interessant maar ook riskant.

Schuilt er achter dit groot 'spel' een verborgen agenda? Moet die gezocht worden in een doelgerichtheid? Wordt de evolutie in een bepaalde richting gedreven? Of zijn we alleen het resultaat van een blind toeval? Op deze vragen bestaat geen sluitend wetenschappelijk antwoord. Het wordt echter duidelijk dat het toeval binnen een kader speelt dat door symmetrieën en neerwaartse oorzakelijkheid bepaald wordt. Het is alsof de 'grillige stroom' van de evolutie door een doelgerichtheid 'gekanaliseerd' wordt. We vermoeden dan ook een bedoeling en bestemming.

Zoals een kind in zijn vraagperiode stelt de wetenschap een reeks van 'waarom'-vragen. Het laatste antwoord van een moegevraagde vader luidt dan "daarom". Ook het uiteindelijke antwoord dat de wetenschap kan geven luidt dat het nu eenmaal zo is. De vraag of het niet anders kan is eigenlijk zinloos. De problematiek wordt dan verschoven naar de 'last desk', die van de filosofie en de religie.

Fier over zijn bewijs van het krachtenparallelogram koos Simon Stevin 'Wonder en is gheen wonder' als zijn lijfspreuk en nam de bollenkrans uit het gedachte-experiment als zijn beeldmerk. Hoe dieper men graaft hoe mysterieuzer de werkelijkheid echter wordt.

Met dank aan André de Vries voor zijn stimulerende opmerkingen.

Hubert Van Belle

10/10/2012

23/05/2013

31/05/2013

12/07/2014

1/10/2020

¹¹² Peter Bogaerts, *Interview met prof. dr. Jan Van der Veken, procesfilosoof*, Gamma jrg. 13 nr. 2, juni 2006. Zie: https://perswww.kuleuven.be/~u0051342/texts/jvdv_interview_2006.pdf

¹¹³ Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/Edge_of_chaos.