

Wereldbeelden IV

Een integrerend denkkader voor de wetenschappen. Peilen naar de diepere aard van de werkelijkheid.

1. Inleiding

1.1. Het wereldbeeldenproject van *Worldviews*

Onder stimulans van Leo Apostel en Jan Van der Veken werd in 1990 de multidisciplinair samengestelde denkgroep *Worldviews* opgericht. Deze groep heeft een dubbele doelstelling. Ten eerste is het in de wetenschappen uiterst moeilijk geworden om de vloedgolf van specialistische kennis nog te overzien, zich erin te kunnen oriënteren en zijn weg er nog in te vinden. De fragmentering en zelfs versplintering van de wetenschappen maakt het bijna onmogelijk om "door de bomen het bos te zien". Dit geldt niet alleen voor buitenstaanders maar evenzeer voor wetenschapsmensen. Ook onze complexe en snel evoluerende wereld is sterk gefragmenteerd, zowel op levensbeschouwelijk, sociaal, politiek als op cultureel vlak. Er is dus nood aan integrerende denkkaders die een coherent zicht op de wereld bieden en de grote lijnen op een overzichtelijke wijze laten zien.

Ten tweede is er ook in de wetenschappen zelf behoefte aan meer integratie. Wetenschappelijk onderzoek dient zich, hoe succesvol deze strategie ook was en is, niet enkel te richten op delen, aspecten en (steeds kleinere) fragmenten van de werkelijkheid. Multidisciplinaire en interdisciplinaire vragen worden alsmaar belangrijker. Wetenschappers dienen tevens te proberen zicht te krijgen op de globaliteit van en de samenhang van de werkelijkheid en op de transdisciplinaire kwesties die zich stellen. Het integreren van de exacte wetenschappen en de menswetenschappen is een belangrijke uitdaging. Daartoe is het noodzakelijk om de relaties tussen de wetenschappen in kaart te brengen en een integrerend denkkader te ontwikkelen.

Worldviews is dus opgericht om naast en boven de specialistische zienswijzen geïntegreerde visies - dat kan enkel in het meervoud - op het geheel van de werkelijkheid te ontwikkelen, en dit voornamelijk in de wetenschappen. Een wereldbeeld kan daarbij omschreven worden als een samenhangend geheel van begrippen en stellingen dat een globaal beeld van de werkelijkheid tracht weer te geven, waarin we zoveel mogelijk van onze kennis en ervaring kunnen inpassen, en dat het gehele gebeuren begrijpbaar maakt. Wereldbeelden kunnen vergeleken worden met geografische kaarten en helpen ons om een weg te vinden in een onoverzienbare, complexe en onzekere wereld. Een wereldbeeld bepaalt de manier waarop de mens naar de werkelijkheid kijkt waarvan hij deel uitmaakt.

Na het programmatische "*Wereldbeelden, van fragmentering naar integratie*"¹ en de deelstudies in "*Cirkelen om de wereld. Concrete invullingen van het wereldbeeldenproject*"² hebben we in "*Nieuwheid denken. De wetenschappen en het creatieve aspect van de werkelijkheid*"³ geprobeerd

¹ Leo Apostel en Jan Van der Veken, *Wereldbeelden, van fragmentering naar integratie*, Kapellen, DNB/Pelckmans, 1991.

² Diederik Aerts, Leo Apostel, Bart De Moor, Staf Hellemans, Edel Maex, Hubert Van Belle en Jan Van der Veken, *Cirkelen om de wereld. Concrete invullingen van het wereldbeeldenproject*, Kapellen, Pelckmans, 1994.

³ Hubert Van Belle en Jan Van der Veken (red.), *Nieuwheid denken. De wetenschappen en het creatieve aspect van de werkelijkheid*, Leuven, Acco, 2008.

om enkele uitgangspunten van een geïntegreerde visie nader te omschrijven. Centraal daarin stond het model van de 'gelaagde structuur van de werkelijkheid', waarin 'emergentie' optreedt. Met het emergentiebegrip wordt het verschijnen van het nieuwe op de hogere niveaus van de werkelijkheid benoemd.⁴ Het is bedoeling van *Wereldbeelden IV* om het integrerend denkader verder te ontwikkelen en in te gaan op de diepere aard van de werkelijkheid. Dat is een verdere stap in het uitdagend wereldbeeldenproject van *Worldviews*.

1.2. Het opzet van *Wereldbeelden IV*

In dit boek gaat de aandacht vooral naar een denkader waarin de exacte wetenschappen en menswetenschappen kunnen geïntegreerd worden. Het begrip 'emergentie' speelt daarbij een belangrijke rol. Daar over dit begrip nog heel wat discussie bestaat wordt getracht om het uit te klaren. Het denkader dat we vooropstellen omvat een gelaagde structuur waarin de wetenschappen kunnen ingepast worden. De micro-reductionistische visie⁵ wordt aangevuld met het emergentiebegrip zodat het mogelijk wordt om het nieuwe en creatieve te denken. We onderkennen ook drie complementaire visies op de wetmatigheden en hun verbanden. Eén visie blijkt niet te volstaan om de wetenschappen te structureren en de algemene eisen vast te leggen waaraan wetten moeten voldoen.

Worldviews stelt in dit boek zijn integrerend wetenschappelijk denkader voor als vertrekpunt om verder in te gaan op een aantal fundamentele kwesties. Bij een dergelijk transdisciplinair project groeien immers vragen naar de diepere aard van de werkelijkheid. Reeds in de twee vorige boeken werd onder meer gewezen op invarianten en symmetrieën. Ze waren van groot belang bij de ontdekkingen van de nieuwe elementaire deeltjes en in de kwantummechanica⁶ en blijken een sleutel tot de werkelijkheid te vormen. Daarnaast zijn er in de wetenschappen een aantal zeer merkwaardige uitgangspunten die meestal aangenomen worden zonder veel vragen te stellen. Denken we bijvoorbeeld aan de voorkeur voor het gebruik van wiskundige modellen in de fysica. Dat de wiskunde zo succesvol blijkt te zijn is niet zomaar vanzelfsprekend. De werkelijkheid heeft een aantal mysterieuze karakteristieken die aandacht verdienen.

In het eerste deel van dit boek vertrekken we vanuit een exact-wetenschappelijke en micro-reductionistische visie op de werkelijkheid.⁷ In de micro-reductionistische visie wordt aangenomen dat de werkelijkheid volledig verklaard kan worden door de wetten die voor elementaire deeltjes en fundamentele krachten gelden. Dit 'strak', 'hard' en sterk met wiskunde doortrokken denkkader wordt opengebrouwen en veralgemeend om er ook de 'zachte' en 'vage' menswetenschappen in te kunnen passen. Daarbij komen ook een aantal (wetenschappelijk-) filosofische beschouwingen aan bod. Om ons 'verhaal' te ondersteunen wordt een beroep gedaan op de visie van een aantal eminente wetenschappers op onder andere het emergentiebegrip, wereldbeelden en 'theorieën van alles'. Wie er verder wil op ingaan vindt in de noten talrijke referenties die meestal op het internet beschikbaar zijn.

⁴ Emergentie is een begrip dat het onverwacht opduiken van micro-reductionistisch onverklaarbare verschijnselen en wezens weergeeft. Dit begrip verklaart niets maar wijst op de (al dan niet fundamentele) beperkingen van het micro-reductionisme, zeker in de huidige stand van de wetenschap.

⁵ In de micro-reductionistische visie op de werkelijkheid wordt uitgegaan van de aanname dat het lagere het hogere bepaalt en verklaart. Deze vooronderstelling wordt doorgetrokken tot op het niveau van elementaire deeltjes en fundamentele krachten.

⁶ Zie: <http://nl.wikipedia.org/wiki/Kwantummechanica> en http://en.wikipedia.org/wiki/Introduction_to_quantum_mechanics

⁷ Het micro-reductionisme is het dominerend paradigma in exacte wetenschappen zoals de fysica en de ingenieurswetenschappen.

We hopen dat dit boek een stimulans mag zijn voor verder wereldbeeldenonderzoek. Hoewel we beseffen dat er in de universitaire wereld nog weinig ruimte voor blijft zijn we er van overtuigd dat het broodnodig is om tegen de trend naar superspecialisatie in te gaan. Een integrerend wetenschappelijk wereldbeeld zou onder meer kunnen helpen om de verbanden tussen disciplines te verduidelijken en een aantal misverstanden over de draagwijdte van hun standpunten te vermijden.

Deze tekst is bedoeld als discussietekst voor het eerste deel van Wereldbeelden IV.

2. De wetenschappelijke kijk op de werkelijkheid

De mens vormt zich van nature een beeld van zijn omgeving en zichzelf. Dit beeld is onmisbaar voor zijn overleven als individu en als soort. Het wereld- en mensbeeld biedt hem immers de mogelijkheid om toekomstige gebeurtenissen te voorzien en zich erop voor te bereiden. De wetenschappen zijn het resultaat van een collectieve en systematische inspanning om kennis over de aard van de werkelijkheid te verzamelen en te structureren. De verschillende wetenschappen richten zich op een bepaald deel en aspect van de werkelijkheid. De wetenschappen zijn als vensters op de wereld.

Het project van de wetenschappen is zeer succesvol gebleken. Soms worden de mogelijkheden van de wetenschappen echter overschat. Het voorspellend vermogen de menswetenschappen is bijvoorbeeld beperkt in vergelijking met de exacte wetenschappen. Hoewel de wetenschappen pretenderen van niet dogmatisch te zijn, is het denkkader van de wetenschappen toch op een aantal vooronderstellingen gebaseerd waarvan sommige betwist kunnen worden. In dit hoofdstuk worden de voornaamste uitgangspunten en benaderingen van de exacte wetenschappen geschetst. Bovendien wordt kort op een aantal belangrijke discussiepunten ingegaan.

2.1. Het wetenschappelijk denkkader

Ieder mens heeft een beeld van de werkelijkheid.⁸ 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 exploreren en manipuleren. 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, zijn kijk verbreedt en zijn horizon verschuift. Bovendien tracht de mens een antwoord te vinden op de zingevingsvragen.

We worden tegenwoordig overspoeld door een stortvloed aan boodschappen en nieuwsberichten die we via verschillende communicatiekanalen vanuit de ganse wereld ontvangen. Samen met de vloedgolf van door de wetenschappen verworven kennis zou dit tot betere inzichten moeten leiden. Het bestaande beeld van de werkelijkheid blijkt immers niet altijd even betrouwbaar meer te zijn en dient aangepast te worden. De lawine aan nieuwe informatie is echter dikwijls onvolledig en niet altijd waarheidsgetrouw. Spijts de massa aan gegevens waarover we nu kunnen beschikken is ons zicht op de werkelijkheid nog te beperkt en mist het samenhang en structuur. Dit gefragmenteerd wereldbeeld doet denken aan een puzzel waarvan stukjes ontbreken en waarbij stukjes van andere puzzels gemengd zijn. De puzzelstukjes passen niet alle ineem en het is onmogelijk om de puzzel te vervolledigen. We slagen er niet om de informatie tot een logisch en aaneensluitend geheel samen te voegen en een geïntegreerd wereldbeeld te construeren.

Het is de bedoeling van de denkgroep Worldviews om een integrerend wereldbeeld te ontwikkelen dat op de wetenschappelijke interpretatie van de werkelijkheid gebaseerd is. Het gaat niet om een encyclopedische verzameling van kennis maar om een denkkader waarin zowel de exacte wetenschappen als de menswetenschappen kunnen ingepast worden. Dat in deze domeinen van de

⁸ Indien we over de werkelijkheid spreken hebben we het over al het bestaande, alles wat is.

wetenschappen uiteenlopende visies bestaan op de aard van de werkelijkheid bemoeilijkt echter een integratie. Charles Percy Snow sprak in een opzienbarende lezing over de twee culturen.⁹

Het geheel van de wetenschappen kan niet vergeleken worden met een goed gepland, overzichtelijk geconcipeerd, solide gefundeerd en afgewerkt gebouw. Het gaat eerder om een bouwverf met een aantal historisch gegroeide gebouwtjes waaraan voortdurend bijgebouwd en verbouwd wordt. Door de vele aanpassingen werd het gebouw onoverzichtelijk. Bovendien is er onzekerheid over de ondergrond en bestaat er instortingsgevaar. Eigenlijk zou vanaf nul moeten herbegonnen worden. Ook de wetenschap is aan herdenken toe. Bij het ontwikkelen van ons integrerend denkader kozen we voor een exact-wetenschappelijk uitgangspunt.

Zoals verhalen geven de wetenschappen een beschrijving van de werkelijkheid. In de wetenschappen gaat het echter niet om fictieve verhalen, verslagen van denkbeeldige situaties en gebeurtenissen. Wetenschapsmensen zijn op zoek naar beschrijvingen die nauw bij de reële werkelijkheid aansluiten. De realiteit vormt de toetssteen van de wetenschappen. Bevestiging door observaties en experimenten is een voorwaarde voor het aanvaarden van een hypothese. De wetenschappen dienen in de realiteit te worden verankerd.

Dat het 'verhaal' een bepaald deel en aspect van de werkelijkheid waarheidsgetrouw weergeeft is zeker in de exacte wetenschappen echter niet voldoende. De beschrijving moet een voorspellende kracht hebben en informatie verschaffen om doelmatig in de werkelijkheid in te grijpen en het gebeuren te beheersen. Het voorspellen van verschijnselen die nog nooit geobserveerd werden is een sterk argument voor de acceptatie van een theorie.¹⁰

In de wetenschappen wordt de werkelijkheid op een rationele wijze bestudeerd. De beschrijvingen dienen aan de eisen van de logica te beantwoorden. Ze worden ook niet alleen in taalvorm weergegeven. In de exacte wetenschappen beperkt men zich bovendien niet tot kwalitatieve benaderingen maar wordt de voorkeur gegeven aan kwantitatieve methodes. De wiskunde speelt een belangrijke rol bij het formuleren van de natuurwetten, bijzonderlijk in de fysica. Rationeel gezien is dit niet te verwachten. Eugene Wigner had het over "de onredelijke effectiviteit van de wiskunde in de natuurwetenschappen".¹¹

De wetenschappen ontwikkelen en gebruiken beelden of modellen van de werkelijkheid. Voorbeelden zijn wiskundige modellen, grafische modellen en schaalmodellen. In de exacte wetenschappen vervangt een model dikwijls het eigenlijke onderzoeksonderwerp. Modellen zijn immers gemakkelijker, goedkoper of veiliger te bestuderen dan het beschouwde deel en aspect van de werkelijkheid. Er blijft echter een onderscheid bestaan tussen een model en het

⁹ Volgende uitspraak wordt veel geciteerd: "A good many times I have been present at gatherings of people who, by the standards of the traditional culture, are thought highly educated and who have with considerable gusto been expressing their incredulity at the illiteracy of scientists. Once or twice I have been provoked and have asked the company how many of them could describe the Second Law of Thermodynamics. The response was cold: it was also negative. Yet I was asking something which is the scientific equivalent of: Have you read a work of Shakespeare's?". Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/The_Two_Cultures

¹⁰ In 1915 publiceerde Albert Einstein zijn algemene relativiteitstheorie die de kromming van de ruimte-tijd in de omgeving van een massa inhoudt. Deze theorie werd tijdens een zonsverduistering in 1919 door Arthur Eddington bevestigd toen hij de voorspelde afbuiging van het licht van een ster waarnam. Zie: http://nl.wikipedia.org/wiki/Algemene_relativiteitstheorie

¹¹ "The Unreasonable Effectiveness of Mathematics in the Natural Science". Zie: <http://www.physik.uni-wuerzburg.de/fileadmin/tp3/QM/wigner.pdf>

onderzoeksonderwerp.¹² Dit wordt geïllustreerd door het opschrift "Ceci n'est pas une pipe" op bekende schilderijen van René Magritte.¹³

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 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 wetenschappen vormen geen volledig samenhangend geheel. Het is echter de grote droom van de voorstanders van het reductionistisch project van de wetenschappen 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')¹⁴ alles moeten kunnen verklaren.

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. De wiskundigen vertrekken dan van een beperkt aantal axioma's en leiden 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.¹⁵ 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 wetenschappen tot een geheel te integreren.¹⁶

Een dergelijke benadering leidt tot een gelaagd beeld van de werkelijkheid. De wetenschappen worden hiërarchisch gestructureerd en we kunnen lagen onderkennen. Aan deze lagen kunnen we een ontologisch statuut toekennen en ze als een bestaand iets beschouwen. We spreken dan van een gelaagde werkelijkheid. Na bijvoorbeeld een fysische laag met een subatomaire basis volgen biologische en psychosociale lagen. Ruw geschetst worden de wetenschappen die tot deze lagen behoren worden opeenvolgend gekenmerkt door het beschrijven van de werkelijkheid in termen van waarschijnlijkheid, deterministische wetten en vage regels¹⁷.

¹² Een model is niet altijd een volledig correcte weergave van de realiteit. Nu het met de computer simuleren zeer gemakkelijk is, wordt dit teveel uit het oog verloren.

¹³ Zie: http://nl.wikipedia.org/wiki/La_trahison_des_images

¹⁴ 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. Er bestaan verschillende versies van de snaartheorie die we als limietgevallen van de M-theorie kunnen beschouwen. Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/String_theory, <http://en.wikipedia.org/wiki/M-theory> en http://en.wikipedia.org/wiki/Theory_of_everything

¹⁵ 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.

¹⁶ De eenheid van de wetenschap wordt dus aangenomen. Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/Unity_of_science

¹⁷ De wetmatigheden die in de psychosociale laag gelden kunnen we minder exact formuleren dan in de andere lagen.

De werkelijkheid is een gegeven. De wetenschappers moeten aanvaarden dat de elementaire deeltjes en fundamentele wetten bijvoorbeeld zijn zoals ze zijn. Ze kunnen slechts 'ont-dekken' wat bestaat en wat mogelijk is. In toegepaste wetenschappen zoals de ingenieurswetenschappen tracht men de mogelijkheden die de natuur biedt te exploiteren. Ingenieurs worden ook met een 'niet-ideale' werkelijkheid geconfronteerd en stuiten op de beperkingen van de wetenschappelijke kennis.

De werkelijkheid is de uiteindelijke toetssteen van de wetenschappen. De wetenschappelijke hypothesen moeten door experimenten en/of waarnemingen gevalideerd worden. Bewijzen dat een theorie de werkelijkheid correct weergeeft is niet altijd eenvoudig en de kosten lopen soms zeer hoog op. Dit is met name het geval in de kwantummechanica en de kosmologie. Denk bijvoorbeeld aan de ontdekking van het higgsdeeltje (higgsboson of Brout-Englert-Higgs-deeltje) met de reusachtige deeltjesversnellers van de CERN en zeer complexe methodes voor signaalverwerking. Bij de studie van levende wezens en hun gedrag kan de validatie van hypothesen ook ernstige problemen stellen. De wetenschappers worden dan met een grote diversiteit en complexiteit geconfronteerd. Bovendien kunnen bepaalde experimenten niet om ethische redenen.

De dingen en verschijnselen die deel uitmaken van de werkelijkheid worden in een ruimte- en tijds kader geplaatst. Het heden scheidt het verleden van de toekomst. Het verleden is onbereikbaar geworden en de toekomst komt als het ware naar ons toe. Onze ingrepen kunnen alleen effect hebben op de toekomst. Niet alles is dus mogelijk. Naast deze asymmetrie in de tijd, aanvaarden de wetenschappers ook dat er wetten bestaan die door de natuur gerespecteerd worden. Deze wetten leggen de 'spelregels' vast die in de werkelijkheid gelden.

Het bestaan van wetmatigheden is eigenlijk gebaseerd op de waarneming dat er dingen en verschijnselen zijn die in ruimte en tijd terugkeren. Zijn de omstandigheden gelijk aan die van vroeger dan zal hetzelfde nu opnieuw gebeuren. Het vaststellen van zich herhalende patronen maakt voorspellingen mogelijk. Wetenschappelijke voorspellingen zijn dus gefundeerd op extrapolatie van kennis uit het verleden.

In de analytische benadering wordt de werkelijkheid beschouwd als een aantal entiteiten die met elkaar in interactie zijn. De totaliteit bestaat uit eenheden die materie en energie uitwisselen. Er wordt aangenomen dat we het gedrag van een geheel kunnen afleiden uit de eigenschappen van de delen en de wetten die hun interacties kenmerken. Dat een geheel meer (of anders) is dan de som van zijn delen wordt toegeschreven aan de wisselwerking tussen de entiteiten.

Wetenschappers ontwikkelen mentale beelden van de werkelijkheid. Daarbij gebruiken ze naast de alledaagse taal vooral logische en wiskundige modellen om de werkelijkheid te beschrijven. De werkelijkheid wordt dan als een abstract web van relaties tussen entiteiten beschouwd. Deze relaties beschrijven de verbanden die het gedrag en de evolutie van de bestudeerde 'dingen' kenmerken. Het gaat bijvoorbeeld om relaties tussen fysische grootheden. De verschillende wetenschappen richten zich op een deel van het web.

Het web van relaties overdekt de werkelijkheid nog niet volledig en vormt geen samenhangend geheel. De wetenschappers trachten de 'gaten' in het web van relaties te dichten en de losse delen met elkaar te verbinden. Ze zijn er van overtuigd dat het mogelijk is om de wetenschappelijke kennis tot een consistent geheel¹⁸ te integreren. Deze unificatie wordt ook als een belangrijke opdracht van de wetenschappen gezien.

¹⁸ Zonder logische tegenstrijdigheden.

In de reductionistische visie is men er bovendien zeker van dat het mogelijk is om het aantal relaties sterk te verminderen. Er wordt aangenomen dat er fundamentele relaties bestaan waartoe alle andere relaties kunnen herleid worden. Met de wetten van de kwantummechanica en deeltjesfysica zouden we bijvoorbeeld in staat moeten zijn om de wetten van de 'gewone' fysica af te leiden. Indien we een beperkt aantal fundamentele relaties vinden wordt het mogelijk om de werkelijkheid op een zeer compacte manier weer te geven. Deze fundamentele relaties laten ook toe om nog onbekende wetten af te leiden die op hogere niveaus gelden.

De wetenschapsbeoefening zou weinig zin hebben indien alles volledig verschillend, nieuw en uniek was. De wetenschappen zijn in feite gebaseerd op het in ruimte en tijd terugkeren van de dingen en verschijnselen. Wetten zijn overal geldige en terugkomende gedragspatronen. Het aanvaarden dat er natuurwetten zijn houdt eigenlijk het bestaan van herhaling in. Ook blijkt dat we in de veranderingen vormen van behoud kunnen ontdekken. Er bestaan ook transformaties die bepaalde zaken ongewijzigd laten. Deze invarianten of symmetrieën worden als de sleutel tot de werkelijkheid gezien. Bekende voorbeelden zijn de wet van behoud van energie, de eerste hoofdwet van de thermodynamica genoemd, en spiegelsymmetrie.

Wetenschapsbeoefening zou ook onmogelijk zijn indien iedere observator een totaal ander beeld van de werkelijkheid heeft. De natuurwetten zijn in principe universeel geldig en iedere observator moet dezelfde wetten kunnen ontdekken. Dit zijn voorwaarden voor objectieve kennis. Bovendien veronderstellen we dat inductieve veralgemening mogelijk is. Uit diverse waarnemingen kunnen we dan een algemene regel afleiden. Herhaaldelijk terugkerende en door verschillende observatoren vastgestelde patronen mogen als wetten beschouwd worden.

De aanname dat objectieve kennis mogelijk is houdt in dat wetten aan bepaalde symmetrievoorwaarden of invariantie-eisen moeten voldoen. Ze dienen bijvoorbeeld schaalinvariant te zijn. De keuze van eenheden mag geen invloed hebben op de wiskundige formulering van een wet.¹⁹ Dit betekent dat de wetten aan bepaalde vormvoorwaarden moeten voldoen. Het is geen toeval dat wetenschappers wetten met een 'esthetische vorm' verkiezen en een voorkeur hebben voor machtswetten. Ook de causale eis dat het gevolg niet voor de oorzaak mag komen, legt beperkingen op aan de vorm die wetten mogen aannemen.

In de exacte wetenschappen en in het bijzonder de ingenieurswetenschappen wordt dikwijls gebruik gemaakt van de analytische methode om het gedrag van een complex geheel te voorspellen. De analytische methode is eigenlijk op het 'verdeel en heers' principe gebaseerd. We gaan ervan uit dat de gedrag van een geheel volledig bepaald wordt door de eigenschappen van de delen en de relaties die hun interacties kenmerken. Na het opsplitsen van het geheel in eenvoudiger delen en het beschrijven van deze delen (de analysefase) worden de interacties met verbindingsvoorwaarden terug ingevoerd (de synthesefase).

Een doorgedreven toepassing van de analytische methode leidt tot het atomisme. De gehelen kunnen opgesplitst worden in elementaire deeltjes. Daarbij wordt aangenomen dat er slechts een beperkt aantal soorten van elementaire deeltjes bestaan die identieke eigenschappen hebben. De micro-reductionistische visie op de werkelijkheid is gebaseerd op de overtuiging dat de kennis over elementaire deeltjes en fundamentele krachten volstaat om de werkelijkheid volledig te beschrijven

¹⁹ Schaalinvariantie of schaalsymmetrie vormt de basis van dimensionele analyse. Zie: http://m.njit.edu/~kondic/pasi/files/Gratton_Perazzo-Dimensional_Analysis_and_Applications.pdf

en te verklaren. De micro-reductionistische visie vertoont een overeenkomst met de axiomatische benadering van de wiskunde.²⁰

In een axiomatisch gestructureerde theorie wordt de veelheid van stellingen tot een beperkt aantal uitgangspunten, axioma's genoemd, herleid. De beschrijving van de elementaire deeltjes en hun interacties kan als het axiomastelsel van de werkelijkheid beschouwd worden. We nemen dan aan dat we de relaties die het gedrag van een geheel kenmerken uit de fundamentele wetten kunnen afleiden en dat deze wetten dit gedrag bijgevolg verklaren.

De fundamentele wetten zijn algemeen geldig en mogen als 'universeel verklarende kennis' beschouwd worden.²¹ Dit houdt in dat we ze in uiteenlopende situaties mogen toepassen om verschijnselen te verklaren. Bovendien is het mogelijk om uitgaande van de fundamentele wetten toekomstig gedrag te voorspellen. Het voorspellend vermogen blijkt echter beperkingen te hebben. Zelfs vrij eenvoudige deterministische systemen kunnen zich 'chaotisch' gedragen.²² Dit gedrag is zeer warrig en onvoorspelbaar maar mogen we niet met willekeur ('randomness') verwaren.

De relaties die het gedrag van delen en de interacties tussen delen kenmerken kunnen ofwel deterministisch ofwel stochastisch van aard zijn. Ook een geheel kan zich deterministisch of stochastisch gedragen. In het eerste geval hebben we met causale wetten te doen die het verband tussen oorzaak en gevolg vastleggen. In het tweede geval spelen toeval en waarschijnlijkheid een bepalende rol. Het toeval wordt ingeroepen indien er geen oorzaken voor een fenomeen bekend zijn. Waarschijnlijkheid of kans wijzen op verschillende mogelijke gevolgen voor een zelfde oorzaak.

De wetenschappelijke theorieën worden steeds abstracter en complexer. Om ze nog begrijpelijk te maken worden dikwijls structurele en geometrische modellen gebruikt. Vooral in de exacte wetenschappen is men vertrouwd met schema's, diagrammen en tekeningen. Het complex gedrag van systemen kan bijvoorbeeld in een in een abstracte ruimte voorgesteld worden. Deze meerdimensionale ruimte geeft dan de mogelijke toestanden van het systeem weer. Hun evolutie beschrijft een traject in een toestands- of faseruimte²³. Door dit pad vereenvoudigd in een twee- of driedimensionale ruimte voor te stellen wordt het gedrag beter verstaanbaar dan met een algebraïsche formule. Een mooie illustratie hiervan is het chaotisch gedrag van niet-lineaire systemen.²⁴

Het blijkt mogelijk om globale uitspraken te doen over het gedrag van een geheel zonder dat het inwendige van de elementen en hun interacties bekend zijn of in rekening gebracht worden. We kunnen grootheden vinden die onveranderd blijven tijdens de wijzigingen van toestand. Dit leidt tot behoudswetten zoals de wet van behoud van energie en van impuls (hoeveelheid beweging). Voor mechanische systemen is Emmy Noether er in geslaagd om deze en andere behoudswetten uit eisen voor objectieve kennis²⁵ af te leiden.²⁶

²⁰ De stellingen van de euclidische meetkunde kunnen bijvoorbeeld uit de axioma's van Euclides afgeleid worden. In het micro-reductionistisch project wordt naar elementaire deeltjes en fundamentele wetten gezocht.

²¹ Voor het verklarend vermogen van een theorie zie: http://en.wikipedia.org/wiki/Explanatory_power

²² Zie bijvoorbeeld de dubbele slinger: http://en.wikipedia.org/wiki/Double_pendulum

²³ Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/Phase_space

²⁴ Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/Chaos_theory

²⁵ Een observator dient dezelfde wetten vast te stellen onafhankelijk van onder meer zijn positie en het tijdstip van de observatie. In feite gaat het om vormen van symmetrie.

²⁶ Zie: http://nl.wikipedia.org/wiki/Stelling_van_Noether

De wet van behoud van energie of eerste hoofdwet van de thermodynamica drukt de equivalentie van mechanische energie (arbeid) en thermische energie (warmte) uit. In elk van de exacte wetenschappen kon een energiebegrip gedefinieerd worden. Het energiebegrip en de wet van behoud van energie vormden de sleutel om de verschillende exacte wetenschappen met elkaar te verbinden.²⁷ Merk hierbij op dat het energiebehoud zowel in de tijd als in de ruimte geldt.

Opmerkelijk is ook dat de verbindingswetten in de verschillende exacte wetenschappen dezelfde vorm aannemen. Dit is bijvoorbeeld het geval met de evenwichts- en verenigbaarheidsvoorwaarden uit de mechanica en de stroom- en spanningswetten van Kirchhoff uit de elektriciteitsleer. Ook de modellen die voor de mechanische en elektrische bouwstenen gelden vertonen dikwijls een grote overeenkomst. Deze analogieën worden bij de studie van multidisciplinaire systemen gebruikt.

Hoewel doelgericht gedrag principieel afgewezen wordt, ontdekten de wetenschappers toch een aantal extremaalprincipes. Bepaalde grootheden streven naar een minimum of een maximum. Een voorbeeld daarvan is de entropiewet of tweede hoofdwet van de thermodynamica. De entropie van een geïsoleerd systeem streeft spontaan naar een maximum. Ook het neo-darwinistische "survival of the fittest", het overleven van de best aan de omgeving aangepaste soorten, kan als een extremaalprincipe beschouwd worden. Om te overleven streven de soorten als het ware naar een groot aanpassingsvermogen en een hoge 'fitheid'. Het is alsof de evolutie in een berglandschap op zoek gaat naar de top, het hoogste niveau van fitheid in een 'fitness landscape'.²⁸

Entropie is een vrij moeilijk begrip uit de thermodynamica.²⁹ Het kan in verband gebracht worden met waarschijnlijkheid en wanorde. Wanorde is de meest waarschijnlijke toestand van een thermodynamisch systeem dat aan zichzelf wordt overgelaten. Het entropiebegrip wordt ook in de informatietheorie gebruikt. Uit tweede hoofdwet van de thermodynamica wordt de warmtedood van het heelal afgeleid. De entropiewet is ook gerelateerd met de onmogelijkheid van een perpetuum mobile (eeuwigdurende beweging)³⁰. De realiteit is niet ideaal en we worden steeds met energiedissipatie en energieverliezen geconfronteerd.

2.2. Belangrijke discussiepunten

Bekend is vooral het debat tussen Albert Einstein en Niels Bohr over de interpretatie van de kwantummechanica. Het gedrag van de kwantumdeeltjes blijkt in strijd te zijn met de deterministische wetten van de klassieke mechanica. Onzekerheid, onbepaaldheid en waarschijnlijkheid spelen een belangrijke rol. Einstein weigerde dit te aanvaarden en stelde dat er 'verborgen veranderlijken' uit het oog verloren waren. Deze discussie is nog steeds niet volledig afgesloten.³¹ Hoewel het formalisme van de kwantummechanica goed werkt, worstelen de

²⁷ Er zijn ook pogingen om het energiebegrip in de humane wetenschappen toe te passen. Dit is bijvoorbeeld het geval voor Philip Mirowski in *More Heat Than Light: Economics As Social Physics, Physics As Nature's Economy*. Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/Philip_Mirowski

²⁸ Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/Evolutionary_landscape en http://en.wikipedia.org/wiki/Fitness_landscape

²⁹ Zie: <http://nl.wikipedia.org/wiki/Entropie>

³⁰ In dit geval gaat het om een perpetuum mobile van de tweede soort. Volgens de wet van behoud van energie is een perpetuum mobile van de eerste soort ook onmogelijk. Er kan geen machine bestaan die arbeid produceert zonder de toevoer van energie: http://en.wikipedia.org/wiki/Perpetual_motion

³¹ Gerard 't Hooft stelt een diepere laag van de kwantummechanica voor die deterministisch van aard is: <http://www.nature.com/news/2003/030108/full/news030106-6.html> en <http://arxiv.org/pdf/quant-ph/0212095v1.pdf>

deeltjesfysici nog altijd met de begrijpbaarheid van de kwantummechanica en stellen ze zich vragen over de grondslagen van deze theorie.³²

De vraag of de werkelijkheid deterministisch of stochastisch van aard is werd nog altijd niet bevredigend beantwoord. Veel fysici zijn er van overtuigd dat deterministisch gedrag het statistisch resultaat is van toevalsprocessen en dat waarschijnlijkheid dus een fundamentele eigenschap is van de werkelijkheid. Sommigen beschouwen daarentegen toeval als het gevolg van complex causaal gedrag. Hoe dan ook, we kunnen ons niet van de indruk ontdoen dat het toeval in bepaalde theorieën een naam is voor onze onwetendheid en niet altijd terecht ingeroepen wordt.

Doelgerichtheid of finaliteit is eveneens een discussiepunt. We hebben reeds gewezen op de extremaalprincipes die als een vorm van doelgerichtheid beschouwd kunnen worden. Door het formuleren van doelstellingen kan met het globaal gedrag van een systeem zeer compact weergegeven. In het gedrag van mensen en organisaties kunnen we een doelgerichtheid onderkennen. Er schijnt in de natuur ook een neiging te bestaan en er blijken organiserende principes te spelen die de evolutie in de richting van een toenemende complexiteit stuwten. Zelfs wie doelgerichtheid afwijst kan moeilijk ontkennen dat het evolutieproces tot de creatie van een menselijk wezen geleid heeft dat bepaalde doelen nastreeft. Het veelvuldig als 'deus ex machina' ter hulp roepen van toeval als verklaringsprincipe is rationeel gezien een gemakkelijksoplossing.

Zoals we reeds opmerkten spelen de analytische methode en de micro-reductionistische benadering een grote rol in de exacte wetenschappen. Dit denkkader wordt ook dikwijls als model voor de menswetenschappen naar voor geschoven. De micro-reductionistische visie op de werkelijkheid wordt in de menswetenschappen echter sterk betwist. Ook binnen de exacte wetenschappen botst deze benadering op haar grenzen. Over de vooronderstelling dat een geheel eigenlijk niet meer is dan de 'som van zijn delen' bestaat immers nog steeds betwisting.

De minder bekende discussie over 'emergentie' is terug actueel. Het emergentiebegrip wijst op het opduiken van onverwachte nieuwe eigenschappen en verschijnselen die micro-reductionistisch onverklaarbaar lijken. Gehelen kunnen gedragpatronen vertonen die totaal anders zijn dan die van de niet-interagerende delen. Het inzicht groeit dat dit gedrag in bepaalde gevallen niet volledig bepaald kan worden uitgaande van informatie over de delen en hun interacties. Emergentie is mogelijk dankzij de onbepaaldheden die een micro-reductionistische visie op de werkelijkheid nog inhoudt.

De fundamentele wetten volstaan blijkbaar niet altijd voor verklarings- en voorspellingsdoeleinden. Dit betekent echter niet noodzakelijkerwijs dat het emergentieverijnsel zich volledig aan de rationaliteit onttrekt en dat het micro-reductionistisch project volledig faalt. Er kan een beroep gedaan worden op principes en voorwaarden zoals extremaalprincipes en symmetrievoorwaarden die bijkomende informatie verschaffen om emergent gedrag te bepalen.

Het debat over het emergentiebegrip en de diverse vormen van emergentie heeft belangrijke filosofische implicaties. De sterke vorm van emergentie stelt het heersend micro-reductionistisch paradigma in vraag. Veel wetenschappers beschouwen het uit fundamentele wetten afleiden van het menselijk gedrag als een onmogelijke opdracht, zelfs indien dit in verschillende stappen zou gebeuren. In de menswetenschappen wordt emergentie meestal aanvaard. De micro-

³² *Nevertheless, the foundations of quantum mechanics themselves remain hotly debated in the scientific community, and no consensus on essential questions has been reached.* Zie: <http://arxiv.org/pdf/1301.1069v1.pdf>

reductionistische visie is echter nog steeds dominerend in de exacte wetenschappen. Het inzicht groeit echter dat deze benadering hier ook fundamentele beperkingen heeft.

Zelfs wie emergentie om principiële redenen afwijst is de facto gedwongen om te doen *alsof* het fenomeen bestaat. We zijn immers nog niet (of zelfs niet) in staat om alle wetmatigheden uit fundamentele wetten af te leiden. De 'black box' benadering biedt dan dikwijls een uitkomst.³³ We richten ons dan alleen op de interactie van het bestudeerde deel van de werkelijkheid met zijn buitenwereld. Er wordt geen aandacht besteed aan de 'details' van de inwendige structuur en van wat intern gebeurt. Het beschouwen van gecompliceerde en ondoorzichtige microscopische fenomenen is niet noodzakelijk indien ze globaal gezien aan wetmatigheden beantwoorden. Deze benadering houdt in dat we afzonderlijke wetenschappen moeten behouden en dat verschillende vensters op de werkelijkheid noodzakelijk blijven.

In de wetenschappen circuleren verschillende visies op de werkelijkheid en worden er diverse benaderingen voorgesteld. Ze richten zich bijvoorbeeld op de deterministische of stochastische (toeval) aspecten van de werkelijkheid en maken gebruik van daaraan aangepaste theorieën. Hierop wordt in appendix A.1 verder ingegaan.

De mens is een complex wezen dat samen met zijn medemensen in een complexe wereld leeft. Hij ondergaat veel invloeden en er speelt een groot aantal factoren. Bijna altijd worden de menswetenschappers bovendien geconfronteerd met storende elementen zoals oncontroleerbare invloeden en toevallige gebeurtenissen. Het gedrag van de mens laat zich moeilijk in een deterministisch kader vatten. Ook statistische benaderingen bieden geen volledige oplossing. Het onderkennen dat individuen, organisaties en gemeenschappen globaal gezien doelstellingen, normen en waarden nastreven kan wat uitkomst bieden. Het laat immers toe om bepaalde drijfveren te karakteriseren en leidt tot een zekere inzichtelijkheid.

De erfelijke aanleg en voorgeschiedenis geven iedere mens aparte karaktertrekken. Dit leidt tot een populatie met grote diversiteit en met bijzondere en zeldzame gevallen. Het uitzonderlijke en eenmalige ontsnapt echter aan de methode van de exacte wetenschappen. Wetten veronderstellen immers herhaling en herhaalbaarheid. Menswetenschappers hebben dikwijls met het unieke en niet repetitieve te doen. Sommige uitzonderlijke gebeurtenissen hebben een zeer grote impact en mogen dan ook niet uit het oog verloren worden.³⁴

Het meningsverschil over de toepasbaarheid van de micro-reductionistische benadering in de menswetenschappen leidt soms tot hevige polemieken. Dit is bijvoorbeeld het geval voor de 'nature-nurture-dabat'.³⁵ Worden de eigenschappen van een mens vooral bepaald door zijn aanleg (erfelijke factoren) of door zijn leefomgeving (ervaringen). De rol van de genen en van de opvoeding in het crimineel gedrag van een misdadiger is nog steeds een twistpunt. Een ander bekend voorbeeld is het 'lichaam-geest' probleem ('mind-body problem').³⁶ In dit geval gaat het om de relatie tussen lichamelijke en mentale toestanden of processen. Neurobiologen beschouwen fysiologische

³³ Zie: http://nl.wikipedia.org/wiki/Zwarte_doos

Voor de meeste gebruikers zijn elektronische toestellen 'black boxes'. Ze kunnen bijvoorbeeld hun 'smartphone' of 'tablet PC' wel bedienen maar de interne structuur en werking kennen ze niet.

³⁴ Nassim Nicholas Taleb heeft over 'zwarte zwanen':
http://en.wikipedia.org/wiki/The_Black_Swan_%28Taleb_book%29

³⁵ Zie: <http://nl.wikipedia.org/wiki/Nature-nurture-debat> en
http://en.wikipedia.org/wiki/Nature_versus_nurture

³⁶ Zie: <http://nl.wikipedia.org/wiki/Lichaam-geestprobleem> ,
http://nl.wikipedia.org/wiki/Filosofie_van_de_geest en http://en.wikipedia.org/wiki/Philosophy_of_mind

processen als basis van mentale activiteit. Ze nemen aan dat er geen veranderingen in de mentale toestanden kunnen optreden zonder wijzigingen in hersentoestanden. Er is nog geen eensgezindheid over de vraag hoe de kennis over mentale processen kan herleid worden tot wat we weten over het fysisch gedrag van neuronen.

In de discussies over de mogelijkheden en beperkingen van het micro-reductionisme staan de standpunten van de exacte wetenschappen en menswetenschappen niet zelden rechtlijnig tegenover elkaar. Een wetenschappelijk en integrerend wereldbeeld zou beide standpunten met elkaar moeten kunnen verzoenen. Een pragmatisch compromis lijkt niet onmogelijk. Ons voorstel bestaat uit een gelaagde structuur van de wetenschappelijke kennis waarin speelruimte voor emergentie bestaat. Deze ruimte wordt beperkt door een combinatie van opwaartse 'oorzakelijkheid'³⁷ (upward causation), neerwaartse 'oorzakelijkheid' (downward causation) en formele eisen. De marge voor emergente wetten die het micro-reductionisme nog laat, wordt dan afgebakend door extremaalprincipes en symmetrievorwaarden. Dit voorstel wordt in de volgende hoofdstukken verder uitgewerkt.

In de exacte wetenschappen is men vertrouwd met wetten waar niet aan te tornen valt. Ingenieurs weten zeer goed dat het negeren van deze natuurwetten onvermijdelijk tot problemen leidt en met ongevallen en zelfs rampen kan afgestraft worden. De wetten die in de menswetenschappen gelden zijn vager en minder dwingend. Op termijn kan het overtreden van deze wetten echter nefaste gevolgen hebben voor individuen en gemeenschappen. De mens kan ook zijn eigen wetten maken om conflicten te vermijden en de maatschappij te ordenen. Dit alles leidt tot misverstanden bij veel menswetenschappers over de aard en beperkingen van de wetten in de exacte wetenschappen. Het water stroomt bijvoorbeeld van nature steeds van een hoger naar een lager punt en geen decreet of rechter kan daar iets aan veranderen. Ook de hoofdwetten van de thermodynamica zijn niet te omzeilen om energie-, milieu- en klimaatproblemen op te lossen.

Het onderscheid tussen exacte wetenschappen en menswetenschappen kan voor een groot deel toegeschreven worden aan de mate waarin een beroep gedaan wordt op kwantitatieve methodes en de mogelijkheden tot experimenteren. De wiskunde stelt een grote voorraad van modellen ter beschikking waaruit we kunnen putten om de werkelijkheid te beschrijven. Voor de exacte wetenschappen beschikken de wiskundigen over bruikbare kwantitatieve benaderingen, maar voor de menswetenschappen is dat veel minder het geval. Er bestaat zelfs verzet tegen de 'mathematisering' van de menswetenschappen. De wiskunde is van groot belang in de exacte wetenschappen zoals de fysica en ingenieurswetenschappen. De gebruikte modellen worden echter steeds abstracter, complexer en moeilijker toegankelijk voor buitenstaanders. Dit is bijvoorbeeld het geval met de nieuwe theorieën uit de kwantummechanica en de kosmologie.

We kunnen ons afvragen of een hypothese zoals de multiversum theorie ('multiverse theory') wel meer is dan een wiskundige beschrijving. Zelfs over de testbaarheid van dergelijke theorieën groeien vragen.³⁸ Er stelt zich niet alleen een probleem van verstaanbaarheid maar ook van interpretatie. We hebben reeds gewezen op de betwisting die nog steeds bestaat over de interpretatie van de kwantummechanica. Dit verklaart de roep voor een terugkeer naar de echte wetenschappelijke principes van testbaarheid, logica en eenvoud.

³⁷ Oorzakelijkheid wijst hier op de relatie tussen wetmatigheden en niet op het verband tussen oorzaak en gevolg.

³⁸ Er wordt gepleit voor een terugkeer naar de "the true scientific principles of testability, logic and simplicity". Zie: <http://www.palgrave.com/journalists/pressreleases/BankruptingPhysics.pdf>

Einstein hield reeds een pleidooi voor het een zo eenvoudig mogelijke, maar toch niet te eenvoudige theorieën.³⁹ Als een reactie op de doorgedreven mathematisering van de fysica en ingenieurswetenschappen wordt dikwijls het belang van 'fysisch inzicht' benadrukt. In een discussie met Georges Lemaître tijdens het Solvay congres van 1927 had Einstein het over ontbreken van fysisch inzicht.⁴⁰

Het streven naar eenvoud vinden we ook terug in het 'scheermes van Ockham' en het economisch principe van Ernst Mach. Ockhams scheermes is een principe dat stelt dat indien er verschillende concurrerende principes bestaan diegene met de minste aannames de voorkeur verdient.⁴¹ Merk echter op dat het principe met omzichtigheid moet toegepast worden. Mach schuift een principe van economie in het denken naar voor. De wetenschappen zouden naar de meest economische beschrijving van de natuur moeten streven.⁴² Het micro-reductionisme is een voorbeeld van denkeconomie.

De micro-reductionistische visie steunt tevens op de aanname van de 'eenheid van de wetenschappen'⁴³. In deze thesis uit de wetenschapsfilosofie wordt gesteld dat alle wetenschappen tot een geheel kunnen verenigd worden. Ook het zoeken naar een wetenschappelijk en integrerend wereldbeeld is op deze veronderstelling gebaseerd. Edward Osborne Wilson gebruikt de term 'consilience' ('coïncidentie') om de synthese van kennis en de unificatie van de wetenschappen aan te duiden.⁴⁴

2.3. De micro-reductionistische visie en het emergentieprobleem

In een micro-reductionistische visie op de werkelijkheid neemt men aan dat de eigenschappen van gehelen uit de karakteristieken van de delen en hun interacties kunnen worden afgeleid. Er wordt ook van uitgegaan dat het 'lagere' het 'hogere' kan 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.

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 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.

³⁹ Zijn uitspraken worden meestal samengevat als: "Everything should be made as simple as possible, but no simpler". Zie: http://en.wikiquote.org/wiki/Albert_Einstein#1930s

⁴⁰ "Your calculations are correct, but your physical insight is *"tout à fait abominable"*." Zie: <http://fys.kuleuven.be/ster/meetings/lemaitre/lemaitre-luminet.pdf>

Informatie over het fysisch denken van Einstein is te vinden in: http://www.pitt.edu/~jdnorton/Goodies/Einstein_think

⁴¹ Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/Occam%27s_razor#Controversial_aspects_of_the_razor

⁴² Zie: <http://plato.stanford.edu/entries/ernst-mach/#EcoUniSci>

⁴³ Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/Unity_of_science en <http://plato.stanford.edu/entries/scientific-unity>

⁴⁴ Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/Consilience_%28book%29 en <http://wtf.tw/ref/wilson.pdf>

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 wordt dan een beroep gedaan 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 onderzoek⁴⁵ en nieuwe manieren om naar de complexe werkelijkheid te kijken.⁴⁶ Emergentie en neerwaartse oorzakelijkheid maken het mogelijk om het nieuwe in de werkelijkheid beter te begrijpen. Het emergentiebegrip is echter nog steeds niet volledig opgehelderd.

Het ontstaan van het leven en van het bewustzijn worden als voorbeelden van emergentie beschouwd. De discussie over emergentie wordt zeer dikwijls rond de 'lichaam-geest' ('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*"⁴⁷ 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 wetenschappen 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. We kunnen ons daarbij onder andere op de onvolledigheidstelling van Gödel baseren. 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.⁴⁸ Onze zoektocht naar inzicht zal nooit eindigen en er zullen altijd nieuwe dingen te ontdekken zijn. De hoop op een 'einde van de wetenschappen' is weinig realistisch.

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

⁴⁵ Zie: <http://en.wikipedia.org/wiki/Self-organization> en <http://pespmc1.vub.ac.be/SELFORG.html>

⁴⁶ Paul Davies, *De blauwdruk van de kosmos. Het scheppend vermogen van de natuur bij de ordening van het heelal*, Amsterdam, Contact, 1991, p. 228. Zie ook: http://www.slideshare.net/aji_saka/the-cosmicblueprint

⁴⁷ Hubert Van Belle en Jan Van der Veken (red.), *Nieuwheid denken. De wetenschappen en het creatieve aspect van de werkelijkheid*, Leuven, Acco, 2008.

⁴⁸ "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/godel-and-the-end-of-physics.html>

gedoemd te zijn. Het reductionisme houdt eigenlijk een informatiecomprimerende operatie in. Sommige hoog-niveau begrippen zijn echter niet tot als meer fundamenteel beschouwde begrippen van een lager niveau te herleiden. Om deze en andere redenen is het utopisch te verwachten dat het micro-reductionistisch project bijvoorbeeld tot één fundamentele wet kan leiden die de werkelijkheid volledig verklaart. Het wordt duidelijk dat 'emergentie' dit onmogelijk zal maken.

Robert Laughlin verdedigt het emergentieconcept en verzet zich tegen een 'theorie van alles' ('Theory of Everything' of 'ToE').⁴⁹ Hij pleit zelfs voor het van nul af heropbouwen van de fysica.⁵⁰ Laughlin vindt ook dat het idee van 'fundamentele wet' ideologisch en zelfs 'mythologisch' is.⁵¹ Volgens hem is het onderscheid tussen fundamentele en emergente wetten eigenlijk kunstmatig.⁵² Welk experimenteel ontdekt en altijd geldige verband tussen grootheden als fundamentele waarheid beschouwd kan worden is immers niet duidelijk. Dit doet ons denken aan het circulaire beeld van relaties tussen de wetenschappen van Jean Piaget.⁵³ Vertrekkend van de fysica als uitgangspunt vinden we dan de scheikunde, biologie, psychologie en uiteindelijk de logica en wiskunde die ons bij de fysica terugbrengen. Van een fundamenteel niveau is in een dergelijk beeld geen sprake. Max Tegmark ziet bijvoorbeeld de externe fysische realiteit als een abstracte mathematische structuur.⁵⁴ Hij beschouwt de wiskunde dus als de fundamentele wetenschap.

We hebben niet alleen een emergentieprobleem te doen, de wetenschappers jagen ook op een bewegend doel ('moving target'). Iedere oplossing roept nieuwe problemen op.⁵⁵ De wetenschappelijke kennis neemt in snel tempo toe en de wetenschappen zijn voortdurend in evolutie. De theorieën die als fundamentele theorie in aanmerking komen zoals de snaartheorie worden ook steeds abstracter en moeilijker begrijpbaar. Hun ontwikkelingen zijn slechts door een kleine groep van zeer gespecialiseerde wetenschappers toegankelijk. Kunnen de integratiepogingen de explosieve ontwikkeling van (super-) gespecialiseerde wetenschappen wel bijhouden? Zullen we het moeten blijven doen met gefragmenteerde wetenschappen? De werkelijkheid is misschien zo dat een volledige unificatie onmogelijk is en de eenheid van de wetenschappen een droombeeld blijft.

⁴⁹ Zie: <http://www.spektrum.de/news/goodbye-weltformel/938492> en

<http://www.closetotruth.com/series/can-emergence-explain-reality#video-2578>.

⁵⁰ Zie: http://books.google.be/books/about/A_Different_Universe.html?id=I5kbyB-yfB4C&redir_esc=y

⁵¹ Zie: <http://www.closetotruth.com/series/emergence-fundamental#video-2583>

⁵² Zie: <https://physics.stanford.edu/people/faculty/robert-laughlin>

⁵³ Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/Unity_of_science en

http://www.fondationjeanpiaget.ch/fjp/site/textes/VE/JP50_IEG3_Conclusion.pdf

⁵⁴ Hij argumenteert dat "*our universe is mathematics in a well-defined sense*". Zie de 'mathematical universe hypothesis' (MUH): http://en.wikipedia.org/wiki/Mathematical_universe_hypothesis en

<http://arxiv.org/pdf/0704.0646v2.pdf> (p. 1).

⁵⁵ Zie het regressieprobleem: http://en.wikipedia.org/wiki/Regress_argument

3. Het denkkader van *Worldviews*

Het micro-reductionisme sluit een fysicalistische en materialistische visie op de werkelijkheid in. Een dergelijke vorm van scientisme lijkt echter niet verzoenbaar met de menswetenschappen. De micro-reductionistische visie houdt immers een verklaringschema in dat een rangorde tussen de wetenschappen vastlegt. Daarbij wordt aangenomen dat de lager geklasseerde wetenschappen de hogere volledig verklaren. De ethische waarden zouden dan bijvoorbeeld uit de fysica kunnen afgeleid worden. Een dergelijk standpunt zal in de menswetenschappen weinig bijval krijgen.

De dikwijls onoverbrugbaar lijkende kloof in denken tussen de exacte wetenschappen en de menswetenschappen vormt een centraal probleem in de wetenschappen. Er is zonder twijfel nood aan een geïntegreerd denkkader. Het lagenmodel van de werkelijkheid, het emergentiebegrip, opwaartse oorzakelijkheid en neerwaartse oorzakelijkheid bieden de mogelijkheid om de exacte wetenschappen en de menswetenschappen in één denkkader te plaatsen. De verschillende wetenschappen richten zich op wat we dan als verschillende 'lagen' van de werkelijkheid kunnen beschouwen.

3.1. Een integrerend denkkader

We leven in een zeer complexe, dynamische en onzekere wereld. De globalisering, opkomende industrielanden, nieuwe conflictenhaarden, opstanden en oorlogen, migratiestromen, religieuze spanningen, dreigende klimaatverandering en sociale media zorgen voor een toenemende economische, politieke en sociale onrust. In het Westen vrezen we voor onze welvaart, welzijn en toekomst. De mensheid staat voor grote uitdagingen. Ook bepaalde ontwikkelingen van de wetenschappen en de technologie roepen vragen op. Wetenschappen en technologie bieden niet alleen oplossingen voor de uitdagingen maar worden vaak gezien als een deel van het probleem. Ze volgen een eigen logica, zijn dikwijls economisch gedreven en ontsnappen grotendeels aan de 'democratische' controle.

Het wetenschappelijk onderzoek zorgt bovendien voor een vloedgolf aan kennis die zelfs voor wetenschappers niet te volgen is.⁵⁶ Veel wetenschappelijke publicaties zijn zeer gespecialiseerd, abstract en ontoegankelijk geworden. De specialisatie heeft tot een versplintering van de wetenschappen geleid. De doorgedreven specialisatie is succesvol gebleken maar het gemis aan overkoepelende en integrale visies wordt steeds duidelijker. Er is een grote nood aan multidisciplinaire, interdisciplinaire en zelfs transdisciplinaire benaderingen om bruikbare oplossingen voor de grootschalige en ingewikkelde problemen te vinden. Het is daarbij belangrijk om een beeld te hebben hoe de verschillende domeinen van de wetenschappen zich tot elkaar verhouden.

De werkelijkheid wordt in de wetenschappen vanuit verschillende invalshoeken en min of meer in detail bestudeerd. Het is alsof de wetenschapsmensen "het grote en schitterende schouwspel van de

⁵⁶ Volgens schattingen werden in 2006 ongeveer 1.350.000 wetenschappelijke artikels gepubliceerd. Zie: <http://www.informationr.net/ir/14-1/paper391.html>

In 2012 werd het aantal artikels per jaar op 1,8 - 1,9 miljoen geschat met een jaarlijkse stijging van ongeveer 3%. Zie: http://www.stm-assoc.org/2012_12_11_STM_Report_2012.pdf

Er bestaan ernstige twijfels over de kwaliteit van de publicaties. Zie: <http://chronicle.com/article/We-Must-Stop-the-Avalanche-of/65890>

wereld"⁵⁷ vanuit verschillende gezichtspunten en van op verschillende niveaus bekijken.⁵⁸ De uiteenlopende gezichtspunten leiden tot aspectvisies op hetzelfde gebeuren, de niveaus tot micro- en macrovisies. De wetenschappers bestuderen de werkelijkheid met de 'gekleurde bril' van hun wetenschap, richten zich al dan niet op de delen en hebben een min of meer goed overzicht op het geheel.

Het geheel van de wetenschappen ziet er nu uit als een veelkleurig lappendeken dat slecht genaaid is. De werkelijkheid wordt door de verschillende wetenschappen vanuit uiteenlopende gezichtspunten bestudeerd. De wetenschappers zijn er slechts gedeeltelijk in geslaagd om alle wetenschappen met elkaar in verband te brengen. Met integratie- en unificatiepogingen hopen ze echter de wetenschappen tot een samenhangend en gestructureerd geheel te kunnen 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 integrerend denkkader vinden dat een antwoord biedt op de versplintering van de wetenschappen en het emergentieprobleem? Indien dit het geval is hopen we dat dit tot nieuwe inzichten over de diepere aard van de werkelijkheid zal leiden.

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 fysicistische opvattingen waarop ze zich baseren worden echter nog sterk betwist. In de discussies speelt het emergentiebegrif een grote rol. Het nieuwe dat tijdens het evolutieproces opduikt mogen we immers niet uit het oog verliezen. Het dispuut tussen reductionisten en 'emergentisten' is nog niet afgesloten. Denk bijvoorbeeld aan de uiteenlopende standpunten over de rol van de genen in het menselijk gedrag.

In volgende punten wordt het denkkader van *Worldviews* voorgesteld. In dit model worden de wetenschappen als een gelaagde structuur beschouwd. Daarbij wordt veel aandacht besteed aan 'emergentie'. Dit begrip wijst op het onverwacht en onvoorspelbaar opduiken van eigenschappen, gedragspatronen en wetten die niet geheel (micro-) reductionistisch te verklaren zijn. Dit betekent niet dat emergente wetten gansl willekeurig zijn. Hoewel toeval een rol speelt kunnen we een aantal eisen ontdekken waaraan emergente wetten moeten voldoen. De sterke vorm van emergentie past niet in het reductionistisch paradigma. We zijn er echter van overtuigd dat het aanvaarden van dit begrip, eventueel om pragmatische redenen, het verband tussen de exacte wetenschappen en menswetenschappen kan verduidelijken

3.2. Emergentie

Zoals we reeds opmerkten is emergentie nog steeds een omstreden begrip. Er bestaan tientallen definities van emergentie, wat de discussie bemoeilijkt. Emergentie is een begrip dat het onverwacht nieuwe en wezenlijk andere in de werkelijkheid tracht te vatten. Het emergentieverijnsel is het resultaat van de interactie tussen de elementen van een geheel. Er bestaan tientallen definities en diverse vormen van emergentie. We kunnen het bijvoorbeeld over diachrone en synchrone emergentie hebben. In het eerste geval wordt het evolutieproces bestudeerd en gaat het om

⁵⁷ Richard Dawkins had het over de evolutie als "*the greatest show on earth*":

http://en.wikipedia.org/wiki/The_Greatest_Show_on_Earth:_The_Evidence_for_Evolution

⁵⁸ De wetenschappers kunnen we vergelijken met supporters die een wedstrijd in een sportstadion volgen. Ze bekijken de match vanuit het standpunt van de ene of de andere ploeg. Naarmate de toeschouwer zich dichterbij of verderaf van het veld bevindt kan hij (of zij) meer of minder details onderscheiden en heeft hij een slechter of beter overzicht op het gehele spel.

verschijnselen en wetten die we niet kunnen voorspellen voor ze in de werkelijkheid opduiken. In het tweede geval stellen we bij de structurering van wetenschappelijk kennis vast dat het onmogelijk blijkt om (reeds gekende) eigenschappen en wetten af te leiden uit de eigenschappen van elementaire deeltjes en de wetten die de fundamentele krachten beschrijven. In beide gevallen stelt zich dus een probleem van onvoldoende kennis. De informatie uit het verleden of van de subatomaire werkelijkheid volstaat niet om emergente gebeurtenissen te voorspellen of te verklaren.

Bij studie van niet-lineaire systemen en chaotisch gedrag⁵⁹ worden we bijvoorbeeld met gedragspatronen geconfronteerd die we als emergent kunnen beschouwen. 'Chaotisch' wijst hier op een zeer grote gevoeligheid van het gedrag voor de beginvoorwaarden die voorspellingen totaal onmogelijk maken. Dit probleem kan echter niet opgelost worden door de begintoestand nauwkeuriger te bepalen. 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')⁶⁰ Vanuit bepaalde begintoestanden kan het traject van een chaotisch systeem als het ware door een 'attractor' (aantrekker)⁶¹ aangetrokken worden. Het traject eindigt dan bijvoorbeeld in een limietcyclus en vertoont een gedragspatroon dat door sommigen als emergent beschouwd wordt. Een limietcyclus is immers een vorm van orde of wetmatigheid waarvan het optreden met emergentie in verband kan gebracht worden.

De onbepaaldheden bij symmetriebrekingen kunnen ook tot gedrag aanleiding geven dat we als emergent mogen beschouwen. Dit is bijvoorbeeld het geval voor knik⁶², een instabiliteitsverschijnsel 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.⁶³ Dit doet ons aan de 'ezel van Buridan' denken die van honger stierf omdat hij geen keuze kon maken tussen gelijkwaardige alternatieven.⁶⁴ Dikwijls wordt het toeval ter hulp geroepen om de ontwikkelingen te 'verklaren'. In veel gevallen is het invoeren 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;

⁵⁹ 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').

⁶⁰ 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
Dat dit vindereffect zich in de werkelijkheid zo voordoet kan in twijfel getrokken worden. Door de invloed van demping zal het verschijnsel immers verzwakken en snel uitdoven.

⁶¹ Het gedrag van bepaalde niet-lineaire dynamische systemen wordt gekenmerkt door een 'attractor' of 'aantrekker'. Dit gedrag evolueert naar een eindsituatie die verschillende vormen kan aannemen zoals bijvoorbeeld van een limietcyclus. Een dergelijk gedrag kan zich ook bij chaotische systemen openbaren. Zie: <http://en.wikipedia.org/wiki/Attractor>

⁶² Zie: http://nl.wikipedia.org/wiki/Knik_%28constructieer%29

⁶³ 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

⁶⁴ Zie: http://nl.wikipedia.org/wiki/Ezel_van_Buridan of: http://en.wikipedia.org/wiki/Buridan%27s_ass

- onbepaaldheden en verschillende mogelijke uitkomsten;
 - onbeslisbaarheid tussen alternatieve oplossingen;
 - onberekenbaarheid en onbeslisbaarheid met automatische procedures (computer algoritmes).⁶⁵
- Het 'nieuwe' bestond vooraf niet, is geen herhaling of combinatie van het bestaande en is fundamenteel 'anders'.

We kunnen een onderscheid maken tussen een ontologische, echte of sterke vorm van emergentie en een epistemologische of zwakke vorm. 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 gaan we er van uit dat er eigenlijk geen fundamenteel probleem bestaat. In de huidige stand van de wetenschappen ontbreekt er weliswaar nog kennis om emergent gedrag af te leiden en te voorspellen. Deze leemte zal echter door nieuwe wetenschappelijke ontdekkingen ingevuld worden. In deze twee vormen van emergentie hebben we dus met een kennisprobleem te doen dat ofwel onoplosbaar is ofwel in de toekomst opgelost zal 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.⁶⁶ 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.⁶⁷

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 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

⁶⁵ 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.

⁶⁶ Een algemeen bewijs voor het reductionisme bestaat evenmin.

⁶⁷ Zie: http://arxiv.org/PS_cache/arxiv/pdf/0809/0809.0151v1.pdf en http://www.livskvalitet.org/pdf/TSWJ2006%20Human_Development_V_Biochemistry_unable_to_explain_morphogenesis.pdf

mogelijkheden die nog open blijven te beperken.⁶⁸ Dit wordt in het volgend hoofdstuk verder besproken.

Het micro-reductionisme is eigenlijk gebaseerd op een gestructureerde 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.⁶⁹ Er ontstaat een diversiteit aan wezens met uiteenlopende eigenschappen en wetmatigheden.

Voor een eenvoudig voorbeeld van emergentie wordt dikwijls naar de fasetransformaties 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 bekomen we bijvoorbeeld achtereenvolgens water en ijs. Het is duidelijk dat ijs eigenschappen heeft die we bij de studie van water en waterdamp niet ontmoeten. In een evolutionair perspectief gezien kunnen dergelijke eigenschappen emergent worden genoemd. De mechanische eigenschappen van vaste stoffen zoals treksterkte en schuifsterkte zijn niet relevant bij vloeistoffen en gassen. Ze zijn ook niet afleidbaar uit de wetten die voor vloeistoffen of gassen gelden.

Emergentie wijst op het opduiken van (nog) niet micro-reductionistisch verklaarbare eigenschappen. Een hard bewijs voor de sterke, ontologische vorm van emergentie ontbreekt echter nog. Dit bewijs zou kunnen geleverd worden door een 'stelling van Gödel voor de fysica'.⁷⁰ Met deze stelling moet dan bewezen worden dat niet alle nieuwe ontdekte wetten tot de bestaande fundamentele wetten te herleiden zullen zijn, en dat we er ook nooit in kunnen slagen. In alle geval dienen we op zijn minst de zwakke, epistemologische vorm van emergentie te aanvaarden. Het verklaren van bijvoorbeeld menselijk gedrag door kwantumgebeurtenissen is nog een zeer verre (of zelfs onhaalbare) droom.

De wetenschappers trachten de werkelijkheid te beschrijven en de verworven kennis zo compact mogelijk weer te geven. Door informatiereductie pogen ze 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. Het is de bedoeling om 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

⁶⁸ 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, Acco, 2008, p. 107.

⁶⁹ Dit wordt mooi grafisch weergegeven in het 'Tree of Knowledge System' van Gregg Henriques: http://en.wikipedia.org/wiki/Tree_of_Knowledge_System

⁷⁰ Volgens de onvolledigheidsstelling van Gödel kan een axiomastelsel dat o.m. de rekenkunde omvat niet samen volledig en consistent zijn. We kunnen altijd geldige stellingen formuleren die niet uit het stelsel van consistente axioma's kunnen afgeleid worden. Hun geldigheid of ongeldigheid is onbeslisbaar binnen dit stelsel. Een fysische versie van de stelling van Gödel zou inhouden dat een beperkt aantal fundamentele wetten niet volstaat om alle wetenschappelijke wetten te verklaren.

informatiereductie is echter nog niet mogelijk en lijkt zelfs onrealistisch. Er bestaan wetmatigheden die in de huidige stand van de wetenschappen niet tot de fundamentele wetten herleidbaar zijn. 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.

De analytische methode en de micro-reductionistische aanpak zouden een hiërarchische structurering van de wetenschappelijke kennis mogelijk moeten maken. De definities, eigenschappen en wetten kunnen dan in een boomstructuur⁷¹ opgenomen worden. Emergentie duidt op zijn minst op een probleem dat vastgesteld wordt bij de hiërarchische structurering van wetenschappelijke kennis. In appendix A.2. 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.

In de exacte wetenschappen heeft men het nog moeilijk met het emergentiebegrip. Gaat het om een eerder modieus maar verder leeg begrip? Hebben we wel met een wezenlijk bestaand verschijnsel dat in de werkelijkheid optreedt te doen? Wordt emergentie niet ingevoerd om een tekort aan kennis te verdoezelen? Een zinvol gebruik van het emergentieperspectief moet uiteraard meer zijn dan mode of onmacht. Om wetenschappelijk vruchtbaar te zijn, moet het leiden tot een betere verklaring van (delen van) de werkelijkheid. Emergentie moet dus uit de sfeer van magie en onverklaarbaarheid weggelaten worden. Samen met neerwaartse oorzakelijkheid is het een verklaringsstrategie waarbij we niet van beneden naar boven kijken - zoals het micro-reductionisme - maar van boven naar beneden, evenzeer met een nuchtere en analytische blik.⁷²

3.3. De gelaagde structuur van de werkelijkheid

De evolutie is een historisch proces dat de mogelijkheden die de werkelijkheid biedt aftast en benut. In dit creatief gebeuren kunnen innovatieve stappen onderkend worden die we als emergent mogen aanzien en dikwijls aan zelforganisatie toegeschreven worden. Zelforganisatie is een spontaan proces dat orde voortbrengt.⁷³ Een zelforganiserend proces wordt niet uitwendig gestuurd maar er moeten wel bepaalde externe voorwaarden voldaan zijn opdat het zou optreden. Het ontstaan van globale orde wijt men in de exacte wetenschap aan lokale interacties. Bekende voorbeelden van zelforganisatie zijn de Bénard cellen⁷⁴ en vogelzwermen. In niet-lineaire systemen die zich ver van hun thermodynamisch evenwicht bevinden, door Ilya Prigogine dissipatieve structuren genoemd, kan orde uit chaos ontstaan.⁷⁵

Tijdens het evolutieproces ontplooidde de werkelijkheid zich en verscheen er een grote diversiteit aan wezens. De evolutie hield baanbrekende vernieuwingen in en resulteerde in structuren en organisaties met beter aangepaste eigenschappen en gedragspatronen. De nieuwe schepsels werden steeds complexer en konden op een probatere manier ageren. Er verschenen wezens die over meer 'capaciteiten' beschikten en als het ware naar een hoger niveau doorgroeid waren. Deze zienswijze leidt tot een abstracte visie die de werkelijkheid als een lagenstructuur met verschillende niveaus

⁷¹ Zie: <http://nl.wikipedia.org/wiki/Boomstructuur> en http://en.wikipedia.org/wiki/Tree_structure

⁷² Strikt gezien gaat het niet om een verklaringsstrategie maar om een poging om het niet volledig micro-reductionistisch verklaarbare toch begrijpbaar te maken. We hebben het over 'begrijpen' in plaats van 'verklaren'. Verklaren wordt dan gereserveerd voor het micro-reductionistisch herleiden.

⁷³ Zie: <http://en.wikipedia.org/wiki/Self-organization> en <http://pespmc1.vub.ac.be/SELFORG.html>

⁷⁴ Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/B%C3%A9nard_cells

⁷⁵ Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/Dissipative_system

beschouwt. Een dergelijke lagenstructuur doet denken aan de functieclassificatie volgens competentieniveaus in bedrijven.

De gelaagde structuur van de werkelijkheid is het resultaat van de emergentie van 'hogere' uit 'lagere' lagen. De lagere lagen bieden de mogelijkheidsvoorwaarden voor het 'emergeren' van de hogere lagen maar bepalen ze niet volledig. Deze vorm van oorzakelijkheid wordt opwaartse oorzakelijkheid of 'upward causation' genoemd en komt overeen met de micro-reductionistische visie⁷⁶ op de werkelijkheid. De lagere lagen vertonen blijkbaar ook een zekere afhankelijkheid van de hogere lagen. We hebben het dan over neerwaartse oorzakelijkheid of 'downward causation'. Neerwaartse oorzakelijkheid beperkt de potentiële ontwikkelingsmogelijkheden van de hogere lagen die door het 'platform' van de lagere lagen geboden worden.

In deze visie is de werkelijkheid dus als het ware uit als het meerdere lagen opgebouwd.⁷⁷ Deze lagen vertonen een zekere afhankelijkheid ten opzichte van elkaar. De hogere lagen van een gelaagde structuur vereisen het bestaan van lagere lagen met bepaalde eigenschappen en wetten die hun emergentie toelieten. Iedere laag van de werkelijkheid (de laagste laag uitgezonderd) ondersteunt de vorige laag en biedt de mogelijkheden voor het ontstaan van de volgende laag. De lagen kunnen dan ook in verband gebracht worden met de fasen van het evolutieproces. Denk hierbij bijvoorbeeld aan het ontstaan van de kosmos, de biosfeer en de mentale (geestelijke) wereld⁷⁸. De lagere lagen bieden echter niet alleen de ontstaansmogelijkheden maar ook de bestaansmogelijkheden voor de hogere lagen. Indien de lagere lagen degenereren verdwijnen de hogere lagen. De rangorde of het niveau van de lagen worden vastgelegd door het vereist zijn van de lagere door de hogere lagen.

De lagen van de werkelijkheid kunnen in fysische, biologische en psychosociale lagen ingedeeld worden:

1. **De fysische laag:** de anorganische stof en de fysische verschijnselen, van elementaire deeltjes tot sterrenstelsels en van fundamentele krachten tot natuurwetten.
2. **De biologische laag:** het leven, vanaf zijn meest primitieve vormen tot de zeer ingewikkelde organismen waartoe ook wijzelf behoren.
3. **De psychosociale laag:** het denken en gedrag van de mens, culturele verschijnselen als producten van psychosociale interacties inbegrepen.

Het ontstaan van het leven en van het bewustzijn vormen de overgangen tussen deze lagen. De stof en het leven waren noodzakelijk om het ontstaan van het bewustzijn mogelijk te maken. De psychosociale laag is het domein waarin de menselijke geest gesitueerd wordt. We kunnen voor deze laag ook spreken van de virtuele werkelijkheid.

De driewereldentheorie van Karl Popper⁷⁹ is in feite eveneens op een lagenmodel gebaseerd. In dit geval wordt er een onderscheid gemaakt tussen wat we kunnen omschrijven als de materiële wereld,

⁷⁶ Micro-reductionisme is een vorm van reductionisme. De grote droom van het micro-reductionisme is het herleiden van alle wetenschappelijke theorieën tot de eigenschappen van elementaire deeltjes en de fundamentele wetten die hun interacties bepalen.

⁷⁷ De geologische lagen zijn een eenvoudig voorbeeld van een lagenmodel.

⁷⁸ Zoals in de computerwetenschap wordt er soms ook van een virtuele wereld gesproken.

⁷⁹ Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/Popper%27s_three_worlds.

Een herziene versie is te vinden in: André de Vries, *De Emergentie en evolutie van Drie Werelden. Tweede Revisie van Poppers Driewereldentheorie*, Rijksuniversiteit Groningen, 2009.

de psychische wereld en de wereld van de cultuur.⁸⁰ Roger Penrose ontwikkelde ook een enigszins vergelijkbaar wereldenbeeld met drie vormen van bestaan.⁸¹ Hij onderscheidt een Platonisch mathematische, fysische en mentale wereld die onderling met elkaar verbonden zijn.

Merk op dat een hiërarchische structuur met een lagenmodel kan beschreven worden. Het leger is een voorbeeld van een strakke hiërarchische structuur. De graden of rangen komen met lagen overeen. Het lagenmodel veronderstelt echter geen dergelijke hiërarchie. Het is minder strikt en laat ook toe om bepaalde anders gestructureerde en georganiseerde wezens te beschrijven. Er moet wel een zekere rangorde of niveau beschouwd kunnen worden. Dit is bijvoorbeeld het geval bij de indeling van de bevolking in sociale klassen volgens economische positie en levenskansen.

We zouden ook over 'dimensies' in de plaats van 'lagen' kunnen spreken. Het is alsof de werkelijkheid in een ruimte met fysische, biologische en psychosociale dimensies evolueert. Deze drie dimensies karakteriseren elk een belangrijk aspect van de structuren en vormen van organisatie die deel uitmaken van de werkelijkheid. Door de emergentie van het leven en het bewustzijn ging het evolutieproces telkens een andere richting uit en werden er nieuwe mogelijkheden die werkelijkheid biedt geëxploreerd en geëxploiteerd.

Het is belangrijk om op te merken dat de voorgestelde lagen niet als dusdanig in de werkelijkheid terug te vinden zijn. Hoewel ze een zekere mate van autonomie blijken te vertonen gaat het eigenlijk niet om verschillende 'werkelijkheden' die volledig los van elkaar kunnen beschouwd worden. We kunnen bijvoorbeeld de mens zowel vanuit een fysisch, biologisch als psychosociaal oogpunt benaderen. De werkelijkheid wordt dan op verschillende manieren bekeken. De lagen zijn in feite verschillende aspecten van eenzelfde werkelijkheid. De mens is niet alleen een bewust wezen maar heeft ook eigenschappen die aan levende organismen en dode stof toegeschreven worden.

Het lagenmodel kan gemakkelijk verder uitgebreid worden met sublagen indien we hiërarchische structuren of organisatievormen waarnemen. Het gebruik van een lagenmodel is minder voor de hand liggend als we met netwerken te doen hebben. In de fysische en biologische lagen kunnen we gemakkelijk sublagen afbakenen. In deze lagen kunnen we immers een hiërarchische structuur ontdekken. Bovendien komen de niveaus met evolutie- en ontwikkelingsfasen overeen. Achtereenvolgens vinden we kwantumdeeltjes, atomen, moleculen, cellen, weefsels, organen en organismen die als sublagen kunnen beschouwd worden. In het geval van de psychosociale laag hebben we eerder met een verweven netwerk te doen. Toch kunnen er sublagen in onderkend worden. We mogen immers stellen dat bijvoorbeeld het sociale het psychische veronderstelt. Indien de psychische functies wegvallen is sociale gedrag niet meer mogelijk.

Het op deze wijze opgevatte model van de gelaagde structuur van de werkelijkheid is echter niet volledig in overeenstemming met de realiteit. De sublagen van de psychosociale laag zijn evolutionair gezien niet te scheiden. Er was niet eerst een psychocognitive en dan een sociale sublaag. Beiden constitueerden elkaar wederzijds. De sociale sublaag sluit ook niet noodzakelijk bij de psychosociale sublaag aan. Zoals bekend is bij de insecten kan de sociale interactie binnen een soort ook gestoeld zijn op chemische uitwisseling van stoffen, in plaats van op een psychisch substraat. De bestudering van de psychosociale sublaag en van de chemo-sociale sublaag bij de niet-mensen wordt daarom

Zie: <http://dissertations.ub.rug.nl/faculties/fil/2009/a.de.vries>

⁸⁰ Jan van der Veken, *Op zoek naar een geïntegreerd wereldenbeeld*, in Bart Raymaekers en André van de Putte (red.), *Lessen voor de eenentwintigste eeuw*, Universitaire Pers en Davidsfonds, Leuven, 1995.

⁸¹ Zie: Roger Penrose, *The Road to Reality. A Complete Guide to the universe*, Vintage Books, London, 2004, pp. 18, 20 en 1029 voor een schematische voorstelling. Hij vulde zijn drie werelden volgens de ideeënleer van Plato aan met het ware het schone en het goede.

traditioneel door de biologie opgenomen. Tenslotte is de psychosociale laag van de mens ook niet ineens als het ware kant en klaar ontstaan. Ze werd bij wijze van spreken al voorbereid in het dierenrijk. Een eerste vorm van psychische werking ontstond vanaf het ontstaan van zenuwcellen, de sociale dimensie zelfs samen met het ontstaan van het leven.

Om de geschetste problemen te vermijden kiezen we voor een meer beperkt opzet: een kennisvisie die niet noodzakelijk de realiteit exact weergeeft. Wat als realiteit gezien wordt verschilt van theorie tot theorie. In ons gelaagd beeld van de werkelijkheid gaat het om het vastleggen van de relaties tussen de verschillende wetenschappen. De indeling in lagen wordt in ons lagenmodel bepaald door het karakter van de eigenschappen en wetten die in een bepaald domein van de wetenschappen gelden. Aan een laag zijn dus één of meerdere met elkaar verwante wetenschapsgebieden gekoppeld die focussen op bepaalde delen of aspecten van de werkelijkheid. De rangorde van de lagen wordt bepaald door de mogelijkheid om ze uit elkaar af te leiden. Daarbij wordt uitgegaan van de micro-reductionistische visie op de werkelijkheid. Het voorgestelde lagenmodel is dus niet als een reële structuur te beschouwen. Het gaat eigenlijk om een poging om de wetenschappelijke kennis logisch te structureren.

Wij onderscheiden volgende lagen en sublagen en daarmee overeenstemmende wetenschappelijke werkelijkheidsbenaderingen indien we ons in het bijzonder op de mens richten⁸²:

1. **De fysische laag**, met begrippen zoals materie en energie en disciplines die tot de bètawetenschappen gerekend worden. Deze laag kan verder ingedeeld worden in:

1.1. **de subatomaire sublaag** met de kwantummechanica, of de studie van de elementaire deeltjes en fundamentele krachten. Deze sublaag wordt gekenmerkt door onzekerheid, onbepaaldheid en waarschijnlijkheid;

1.2. **de hogere fysische sublaag** met de fysica en chemie, die de niet-levende materie bestudeert, en disciplines gaande van de klassieke mechanica tot de biochemie omvat. Hier spelen deterministische wetten de hoofdrol.

2. **De biologische laag** met de biologie als basiswetenschap. De takken van de geneeskunde die zich op het menselijk lichaam richten behoren ook tot deze laag. De wetten zijn hier minder hard en dikwijls statistisch van aard.

3. **De psychosociale laag** die bestudeerd wordt door de menswetenschappen of gammawetenschappen. Dit is ook het domein van de geesteswetenschappen of alfawetenschappen. De sublagen zijn moeilijker af te lijnen en het voorwerp is veel minder helder te omschrijven dan van de vorige lagen. De wetmatigheden uit de psychosociale laag zijn vaag en er bestaat dikwijls weinig overeenstemming over. We kunnen een onderscheid maken tussen volgende sublagen:

3.1. **de psychocognitieve sublaag** met de psychologie die aandacht heeft voor het instinctief, emotioneel en betekenisvol gedrag van de mens;

3.2. **de sociale sublaag** met wetenschappen zoals de sociologie, antropologie en economie, die het sociale gedrag van de mensen in allerlei vormen van gemeenschappen bestudeert;

3.3. **de culturele sublaag** die aan bod komt in de studie van de 'mentale' activiteiten op intellectueel, spiritueel, artistiek en technisch vlak. Hier vinden we wetenschappen zoals filosofie, filologie,

⁸² Deze lagenstructuur geldt ook voor andere levende wezens zoals planten en dieren. Bepaalde hogere sublagen vallen dan echter weg.

geschiedeniswetenschap, ethiek en theologie. De ethisch-spirituele problematiek is op dit niveau te situeren.⁸³

De fysische en biologische lagen en sublagen kunnen we de materiële lagen noemen en de psychosociale sublagen gedragslagen en mentale lagen. De subatomaire sublaag beschouwen we als de laagste laag van het lagenmodel.

In de lagere sublagen is de kennis over voorwaarden te vinden die het ontstaan van de hogere lagen mogelijk maken. Zonder de eigenschappen en wetten die in de lagere lagen gelden kunnen de hogere lagen ook niet bestaan. Het sociale veronderstelt onder andere het psychocognitieve. We nemen in de micro-reductionistische visie op de werkelijkheid aan dat de eigenschappen en wetten die de sociale sublaag karakteriseren uit de karakteristieken van de psychocognitive sublaag kunnen afgeleid worden.

Indien er emergentie optreedt zijn we met de kennis uit de lagere sublagen alleen niet in staat om de wetenschappelijke inhoud ('content') van de hogere sublagen volledig te bepalen. Dit sluit niet uit dat de lagere sublagen vereisten voor het ontstaan en bestaan van de hogere sublagen vastleggen. We kunnen dan ook stellen dat sublagen de opeenvolging van voorafgaandelijke en noodzakelijke voorwaarden ('prerequisites') beschrijven die de hogere lagen mogelijk maken.⁸⁴ Zoals we reeds opmerkten komt het voorgestelde lagenmodel niet met de reële structuur van de werkelijkheid overeen maar is het een poging om de wetenschappelijke kennis logisch te structureren.⁸⁵

Dit kennismodel is vergelijkbaar met het 'Tree of Knowledge (ToK) system' ('boom van kennis systeem') van Gregg Henriques dat de verschillende fasen in de ontvouwing van de werkelijkheid benadrukt.⁸⁶ Het zou een antwoord moeten bieden op vraag wat de psychologie eigenlijk is. Jean Piaget plaatste de verschillende wetenschappen in een cirkel samengesteld uit de fysica, scheikunde, biologie, psychologie, logica en wiskunde.⁸⁷ De logica en wiskunde vormen het sluitstuk van de psychologie naar de fysica.

In het kader van de 'General Systems Theory' ('Algemene Systeemtheorie') ontwikkelde Kenneth Boulding een verwante systeemhiërarchie.⁸⁸ Ze is gebaseerd op het niveau van complexiteit van de systemen die deel uitmaken van de werkelijkheid. Boulding onderscheidt volgende negen niveaus: het raamwerk (statische structuren), het uurwerk (eenvoudige dynamisch systemen), het cybernetisch systeem (regelsystemen), de cel, de plant, het dier, de mens, het sociaal systeem en het transcendentale systeem (het uiteindelijke en absolute). De systemen in de hogere niveaus zijn rijker aan eigenschappen dan in de lagere niveaus.

⁸³ Een belangrijk aspect van de culturele laag is immers het denken over waarden, overtuigingen, spiritualiteit en religie. Vandaar dat er onvermijdelijk banden bestaan tussen wereldbeeld en wereldbeschouwing.

⁸⁴ In de computerwetenschap onderscheidt men bijvoorbeeld hardware- en softwarelagen. Bij het installeren van een nieuw toepassingsprogramma moeten we aandacht hebben voor de 'prerequisites', de vereiste hardware en systeemsoftware.

⁸⁵ In Kantiaanse termen: we beperken ons tot de fenomenale orde en stellen de nominale orde tussen haakjes.

⁸⁶ Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/Tree_of_Knowledge_System en <http://psychweb.cisat.jmu.edu/ToKSystem/My%20ToK%20Papers/The%20ToK%20and%20Unification%20of%20Psych.pdf>

⁸⁷ Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/Unity_of_science en http://www.fondationjeanpiaget.ch/fjp/site/textes/VE/JP50_IEG3_Conclusion.pdf

⁸⁸ Zie: http://nl.wikipedia.org/wiki/Algemene_systeemtheorie#De_systeemhierarchie_van_Boulding en http://emergentpublications.com/eco/eco_other/issue_6_1-2_18_cp.pdf?AspxAutoDetectCookieSupport=1 pp. 202 - 207.

Er bestaan wetenschappen en wetenschappen. Naarmate we in het voorgestelde kennismodel van de lagere exacte wetenschappen naar de hogere menswetenschappen opstijgen worden de beschouwde wetten minder hard, vager en onnauwkeuriger. Er bestaat ook minder consensus en er zijn concurrerende theorieën in omloop. Dit onderscheid tussen de diverse wetenschappen wordt dikwijls uit het oog verloren, zeker in de media. Sommige menswetenschappers bekleden zich ten onrechte met het aureool van een exacte wetenschap. Zelfs in de exacte wetenschappen dient men zich bewust te zijn van de beperkingen van de wetenschappen. De druk tot publiceren en in de media te verschijnen leidt vaak tot te vergaande claims en opgeklopte verwachtingen.

3.4. Neerwaartse oorzakelijkheid

We hebben reeds opgemerkt dat de eigenschappen van lagere (sub)lagen van de werkelijkheid de gedragspatronen of wetten die in hogere (sub)lagen optreden niet volledig bepalen. Er dienen zich immers alternatieven aan en er blijft ruimte voor het onverwachte, onvoorspelbare, creatieve en nieuwe. Leo Apostel schreef dit toe aan symmetriebrekingen. Symmetrieën⁸⁹ of invarianten karakteriseren het wetmatige in de werkelijkheid⁹⁰, symmetriebrekingen of (spontaan) gebroken symmetrieën het creatieve.

Volgens Alfred North Whitehead is de werkelijkheid een creatief proces waarin voortdurend nieuwheid ontstaat. Dit nieuwe past niet in een micro-reductionistische visie waarin men alle eigenschappen van de hogere lagen volledig uit de karakteristieken van de lagere lagen wil kunnen afleiden. We botsen dan ook op de grenzen van het micro-reductionisme. Whitehead ziet zijn model als een kritiek op het wetenschappelijk materialisme dat een vooronderstelling was van de wetenschappen van zijn tijd.

In "*Nieuwheid denken*" vroegen we ons af of er beperkingen zijn aan het nieuwe, emergente in de werkelijkheid. Als antwoord op deze vraag hebben we naast 'opwaartse oorzakelijkheid' - bijvoorbeeld de invloed van de genen op het menselijk gedrag - ook 'neerwaartse oorzakelijkheid' als invalshoek naar voren geschoven. Door het invoeren van deze bijkomende vorm van causaliteit trachten we de invloed van het groter geheel op het beschouwde deel van de werkelijkheid in rekening te brengen en de keuze tussen de mogelijke alternatieven te verantwoorden. De emergente wetten die bestaan gaan bijvoorbeeld samen met organisatievormen die het selectieproces van de evolutie doorlopen hebben en dus aan overlevingsvoorwaarden voldoen.

Dat de hogere lagen worden door de lagere beïnvloed worden lijkt geen twijfel. De lichaamsmassa heeft bijvoorbeeld invloed op het looppatroon van dieren.⁹¹ Deze vorm van oorzakelijkheid van een lagere laag naar een hogere laag toe wordt opwaartse oorzakelijkheid of 'upward causation' genoemd. Het bestaan en het belang van opwaartse oorzakelijkheid wordt door iedereen erkend. De reductionistische visie⁹² op de werkelijkheid concentreert zich op deze oorzakelijkheid en boekt

⁸⁹ Symmetrieën van objecten en wetten zijn transformaties die bepaalde eigenschappen van deze entiteiten onveranderd laten. Een bol is bijvoorbeeld invariant voor een rotatie rond elk van zijn mogelijke assen.

⁹⁰ Patronen die zich in ruimte en tijd herhalen.

⁹¹ De lichaamsmassa bepaalt de snelheid bij de overgang van draf naar galop en dit volgens een machtswet: Thomas A. McMahon en John Tyler Bonner, *De maat van het Leven. Hoe de natuur haar eigen wetten gehoorzaamt*, Maastricht, Natuur en Techniek, 1987, pp. 157-158.

Het getal van Froude speelt een rol bij de verschillende overgangen van looppatronen Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/Froude_number#Walking_Froude_number

⁹² Met 'reductionistisch' bedoelen we hier 'micro-reductionistisch'. Meestal wordt het woord in deze betekenis gebruikt.

daarmee ook vele successen. Voorbeelden hiervan zijn de chemisch samengestelde medicijnen tegen psychische ziekten. Maar is het de enige vorm van oorzakelijkheid?

Omgekeerd vertonen de lagere lagen immers ook een zekere afhankelijkheid van de hogere lagen. We hebben het dan over neerwaartse oorzakelijkheid of 'downward causation'. Deze is veel meer omstreden. Bestaat die echt of is het een (nuttige) illusie? En als ze bestaat, hoe kunnen we ons die dan voorstellen? Om te beginnen, kunnen we theoretisch drie vormen van neerwaartse oorzakelijkheid onderscheiden. Niet omstreden is dat menselijke handelingen indirecte uitwerkingen hebben op de lagere niveaus. Een prominent actueel voorbeeld is de milieuvervuiling.

Een tweede vorm van neerwaartse oorzakelijkheid omschrijft de beperkingen die de totaliteit, het geheel van de werkelijkheid, oplegt aan de delen waaruit ze bestaat. Ook dat wordt aanvaard, zij het dat er onenigheid is over hoe het gebeurt en of dit niet reductionistisch kan worden verklaard. In de praktijk blijkt het immers bijzonder moeilijk deze totaliteitseisen systematisch uit te werken, ze conceptueel te preciseren en in een samenhangend verband te brengen. De meeste reductionisten aanvaardden wel een zwakke vorm van totaliteitscondities, zonder de idee van 'uiteindelijke' reductie op te geven.

De discussie over 'downward causation' spitst zich toe op een derde vorm, de directe causale invloed van hogere op lagere niveaus. Het is een wijdvertakte discussie die vele disciplines beroert. De oude ideeën van 'mentalisme': mentale krachten die biologische en fysische fenomenen naar hun hand zetten, bijvoorbeeld 'faith healing' of telekinese, worden afgewezen. Die missen elke wetenschappelijke basis en de 'bewijzen' ervan zijn vaak als bedrog ontmaskerd. Wat eveneens afgewezen wordt zijn verouderde opvattingen als 'vitalisme': de idee van een niet tot het fysisch-chemische niveau herleidbare 'levensgeest'. Onze gelaagde visie op de werkelijkheid houdt dus tegenover de reductionisten twee zaken in: ten eerste het opduiken in de loop van de evolutie van nieuwe lagen in de werkelijkheid die niet volledig kunnen gereduceerd worden tot de werking van de lagere lagen waaruit zij emergeren, en ten tweede het belang van totaliteitseisen voor het functioneren van delen in gehelen.

Twee verschillende vormen van neerwaartse oorzakelijkheid blijken een grote rol te spelen in het evolutieproces. Enerzijds gaat het om organiserende principes die als het ware vanuit de hogere (sub)lagen opgelegd worden. Organiserende principes komen overeen met regels die tot een goed ontwerp leiden, dit vanuit het oogpunt van functioneren en betrouwbaarheid. Een organisatievorm met terugkoppelingen ('feedback-loops') dringt zich bijvoorbeeld op om het gedrag van wezens binnen bepaalde 'normen' te houden.⁹³ Redundantie is een mogelijkheid om de betrouwbaarheid te verhogen. Anderzijds drukt neerwaartse oorzakelijkheid de voorwaarden uit waaraan wezens moeten voldoen om te overleven. Het gaat om eisen van robuustheid, succesfactoren, selectiecriteria tussen alternatieven, efficiëntiecriteria en dergelijke. Deze laatste worden dikwijls als minima- of maximaprincipes geformuleerd. Neerwaartse oorzakelijkheid maakt de werkelijkheid beter begrijpbaar⁹⁴. Een mooi voorbeeld hiervan is het darwinistische 'survival of the fittest'.

Dit alles brengt ons tot een model van de werkelijkheid dat we kunnen beschouwen als een 'tussenweg' tussen de reductionistische visie van onderop ('bottom-up') en een niet-reductionistische visie van bovenaf ('top-down'): een gelaagde werkelijkheid met emergentie en een

⁹³ De regulatie van de lichaamstemperatuur is een voorbeeld van een feedbackmechanisme.

⁹⁴ Het biedt echter geen verklaring in de strikte zin van het micro-reductionisme. Dit wordt door de neodarwinisten meestal uit het oog verloren.

combinatie van opwaartse en neerwaartse oorzakelijkheid.⁹⁵ Deze complementaire invalshoeken doen denken aan het principe van Michael Polanyi dat de wederzijdse beïnvloeding tussen de niveaus van hiërarchisch gestructureerde systemen weergeeft⁹⁶:

- *deel 1*: in veel hiërarchisch gestructureerde systemen beperken aangrenzende niveaus elkaar wederzijds maar bepalen elkaar niet;

- *deel 2*: in hiërarchisch gestructureerde systemen schakelen de controleniveaus (gewoonlijk de hoogste lagen) de laagste lagen in en 'dwingen' hen tot gedrag dat ze niet zouden vertonen indien ze alleen waren.

Het is belangrijk om daarbij op te merken dat de controleniveaus de wetten van de fysica en biologie die in de lagere niveaus gelden niet mogen schenden. Het gaat hier om een eerder organisatorische kijk op de werkelijkheid.

Merk ook op dat we zoals Kant in zijn *Kritik der Urteilskraft* een onderscheid kunnen maken tussen verklaren en begrijpen. In het eerste geval redeneren we 'bottom-up', in het tweede geval 'top-down'. Denk hierbij bijvoorbeeld aan de bloedsomloop of een voertuig. Om de werking van een dergelijk systeem uit te leggen kan op een verklaring beroep gedaan worden. 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. We kunnen 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 redeneren we in termen van functie en doel. Strikt genomen kan de 'struggle for life' niet als een verklaring voor de evolutie beschouwd worden maar maakt deze uitleg de evolutie wel inzichtelijk.

⁹⁵ In *Nieuwheid denken* onderkennen nog een derde invalshoek: de algemene eisen die aan wetten kunnen gesteld worden. Wetten dienen te beantwoorden aan voorwaarden die objectieve kennis en inductieve veralgemening mogelijk maken. De vormvereisten waaraan de wiskundige formulering van wetten moet voldoen kunnen uit de symmetrieën of invarianten afgeleid worden die deze voorwaarden weergeven. Emmy Noether heeft het verband tussen dergelijke symmetrieën of invarianten en behoudswetten aangetoond. Zie ook: http://nl.wikipedia.org/wiki/Stelling_van_Noether

⁹⁶ "The concept of interfaces of dual-level control". Stephen Jay Kline spreekt van "the concept of interfaces of mutual constraints". Zie: Stephen Jay Kline, *Conceptual Foundations for Multidisciplinary Thinking*, Stanford California, Stanford University Press, 1995, pp. 114-121.

4. Emergente wetten

We zijn niet in staat om het emergente te voorspellen of te verklaren uitgaande van informatie over het verleden of van de subatomaire werkelijkheid. Dit betekent echter niet dat alles kan. Er gelden immers beperkingen die de speelruimte voor natuurwetten, emergente wetten inbegrepen, aflijnen en inperken. In bepaalde gevallen is het mogelijk om beroep te doen op deze bijkomende voorwaarden om de voorspellings- en verklaringsproblemen aan te pakken. We kunnen drie belangrijke complementaire visies op de werkelijkheid onderscheiden die de emergente wetten nader bepalen.

Het gedrag op de verschillende niveaus van de werkelijkheid wordt door opwaartse en neerwaartse oorzakelijkheid beïnvloed. Samen leggen ze in feite voorwaarden op aan emergente eigenschappen en wetten. Bovendien is de vorm die de emergente wetten kunnen aannemen ook niet willekeurig. Er zijn immers formele voorwaarden van toepassing waaraan alle wetten moeten voldoen. De wetten horen bijvoorbeeld schaalinvariant te zijn. Deze symmetrie leidt tot machtswetten en dimensionele analyse. Ze verklaart ook de 'esthetische' vorm die wetten aannemen. Daar er in veel wetenschappen machtswetten verschijnen wordt er soms van universaliteit gesproken.

4.1 Symmetrieën en symmetriebrekingen

Symmetrieën of invarianten spelen een belangrijke rol in de wetenschappen. 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. We kunnen invarianties voor onder andere translatie, rotatie, spiegeling en inversie onderscheiden. Symmetrieën vormen een 'passe-partout' (loper) van de wetenschappen 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.⁹⁷ 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.⁹⁸ Merk op dat deze kwantitatieve wetten in deze bewijzen uit kwalitatieve overwegingen over de aard van de werkelijkheid volgen.

Symmetriebeschouwingen hebben een grote rol gespeeld in de ontwikkeling van het Standaardmodel van de deeltjesfysica.⁹⁹ De zoektocht naar nieuwe elementaire deeltjes zoals het higgsdeeltje is gebaseerd op voorspellingen van dit model. 'Supersymmetrie' (SUSY) is een uitbreiding van het Standaardmodel die, als ze correct is, bepaalde leemten zou opvullen.¹⁰⁰ Ook in

⁹⁷ Zie: http://nl.wikipedia.org/wiki/Stelling_van_Noether en http://en.wikipedia.org/wiki/Noether%27s_theorem

⁹⁸ Zie: http://nl.wikipedia.org/wiki/Stelling_van_Noether#Toepassing

⁹⁹ Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/Standard_Model

¹⁰⁰ <http://home.web.cern.ch/about/physics/supersymmetry> en <http://en.wikipedia.org/wiki/Supersymmetry>

de kwantummechanica zijn symmetrieën belangrijk.¹⁰¹ Ze beschrijven eigenschappen van de ruimte-tijd en van de elementaire deeltjes die ongewijzigd blijven onder bepaalde transformaties. Merk op dat kwantummechanica een succesvolle maar complexe en wiskundig geformuleerde theorie is die axiomatisch gestructureerd werd.¹⁰²

Laurent Nottale stelt dat de voornaamste axioma's van de kwantummechanica afgeleid kunnen worden uit de invariantie t.o.v. de (ruimte-tijd) resolutie van de meetapparatuur.¹⁰³ De *fysische* resultaten van een meting in de kwantummechanica zijn volgens hem afhankelijk van de resolute van de meetapparatuur, het kleinste verschil in waarde dat nog meetbaar is.¹⁰⁴ 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'.¹⁰⁵ Deze voorbeelden maken het duidelijk dat de zoektocht naar symmetrieën en invarianten zeer belangrijk is voor de ontwikkeling en integratie van de wetenschappen.¹⁰⁶

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 in een gesloten systeem 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. Er duiken dus plaatselijk nieuwe wetten op die als emergent kunnen beschouwd worden.

Volgens Klaus Mainzer en Leon Chua kunnen we de emergentie van complexe patronen in een homogeen medium toeschrijven aan een 'local activity principle'.¹⁰⁷ Lokale activiteit zou de oorzaak zijn van symmetriebrekingen en de daaruit volgende symmetrieën. Door lokale activiteit kunnen toevallige fluctuaties fel versterkt worden en wordt de patroonvorming mogelijk. Het idee komt oorspronkelijk uit het domein van de niet-lineaire elektronische systemen en cellulaire automaten. Het gaat blijkbaar om een zeer fundamenteel en algemeen principe. Het kan onder andere kunnen toegepast worden in de kwantumkosmologie, economie en sociologie. Chua beschouwt het principe als een nieuwe entropiewet.¹⁰⁸

¹⁰¹ Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/Symmetry_in_quantum_mechanics

¹⁰² Voor de wiskundige formulering en de axioma's of postulaten van de kwantummechanica zie:

http://en.wikipedia.org/wiki/Mathematical_formulation_of_quantum_mechanics ,

http://nl.wikipedia.org/wiki/Postulaten_van_de_kwantummechanica en

<http://arxiv.org/pdf/quant-ph/0101012v4.pdf> :

¹⁰³ Zie: <http://aristote.biophy.jussieu.fr/~luthier/nottale/arCSF94.pdf>

¹⁰⁴ "*While in the classical domain, the resolution with which a measurement is performed does not change the physics (measuring with a better resolution only improves the precision of the measurements results), this is no longer the case in quantum mechanics. The Heisenberg relations imply a universal dependence of physical results on the resolution of the measurement apparatus.*" Zie:

<http://aristote.biophy.jussieu.fr/~luthier/nottale/arCSF94.pdf> p.2.

¹⁰⁵ Zie: <http://users.skynet.be/bk320440/Auffray-Nottale-PBMB-corr.pdf> en

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

¹⁰⁶ Sommigen beschouwen symmetrieën als "de handtekening van God".

¹⁰⁷ Zie: [http://www.amazon.com/Local-Activity-Principle-Complexity-Symmetry/dp/1908977094#](http://www.amazon.com/Local-Activity-Principle-Complexity-Symmetry/dp/1908977094#reader_1908977094)

http://www.worldscientific.com/doi/suppl/10.1142/p882/suppl_file/p882_chap01.pdf

<http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/p010895.pdf>

¹⁰⁸ Zie: <http://www.youtube.com/watch?v=lxlDTdzTqzM>

Symmetrieën kunnen in verband gebracht worden met wetmatigheden, in ruimte en tijd terugkerende patronen, en symmetriebrekingen met nieuwheid, emergentie 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.¹⁰⁹ Symmetrieën en symmetriebrekingen doen wat denken aan de 'Bolero van Ravel': een steeds terugkerend thema dat met een gewijzigde orkestratie in crescendo herhaald wordt.

In *Cirkelen om de Wereld* trachtte Leo Apostel de vraag te beantwoorden hoe symmetrieën en symmetriebrekingen ten opzicht van elkaar staan.¹¹⁰ Zijn ze onafhankelijk, kunnen ze uit elkaar afgeleid worden of volgen ze uit een gemeenschappelijke ontologische grond (het 'wezen' van het 'zijn')? Hij koos voor de laatste optie. In de fysica rijst de vraag hoe men onomkeerbare processen kan verzoenen met de tijd-symmetrie van fundamentele wetten. De kinetische gastheorie die gebruikt wordt om gaswetten af te leiden is immers reversibel terwijl de tweede hoofdwet van de thermodynamica in dit geval onomkeerbaarheid uitsluit. Deze vaststellingen leidden tot de paradox van Loschmidt.¹¹¹ Het zou onmogelijk zijn om symmetriebrekingen om uit symmetrieën af te leiden. Er blijken echter theorieën te bestaan die dit probleem trachten op te lossen.

We maken verder 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.¹¹² Een wet is een model dat een speciaal statuut kreeg. Een wet dient aan voorwaarden te voldoen van algemene geldigheid, betrouwbaarheid, dimensionele homogeniteit¹¹³ 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.¹¹⁴

De vorm die de wetten van de natuur kunnen aannemen is niet willekeurig. We hebben er reeds op gewezen dat de mogelijkheid van objectieve kennis inhoudt dat wetten schaalinvariant moeten zijn. De keuze van eenheden mag geen invloed hebben op de wiskundige formulering van een wet. Deze

¹⁰⁹ "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.

¹¹⁰ Leo Apostel, *Vier fundamenteel verschillende wereldbeelden* 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, pp. 225 - 227.

¹¹¹ Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/Loschmidt%27s_paradox

¹¹² De wiskundige modellen die bijvoorbeeld in de black box benadering gebruikt worden zijn niet op fysische beschouwingen gebaseerd.

¹¹³ De vergelijking die een wet beschrijft is dimensioneel homogeen indien de eenheden in de linkse en rechtse term met elkaar in overeenstemming zijn. Deze eis kan met dimensionele analyse of dimensieanalyse geverifieerd worden.

¹¹⁴ Dit onderscheid vertoont overeenkomst met het systeem van de dubbele waarheid van de Arabische filosoof Averroës.

vaststelling vormde de basis van dimensionele analyse¹¹⁵ en leidt tot machtswetten¹¹⁶. De vorm van de bekende formule van Einstein $E = mc^2$ is dus niet toevallig.¹¹⁷ Een dergelijke machtswet wordt als esthetisch beschouwd.

Bij het in een wiskundige vorm gieten van onderzoeksresultaten zoeken de wetenschappers naar eenvoudige en als mooi beschouwde uitdrukkingen. De esthetische vorm van de formules wordt als een belangrijk kenmerk van een wet gezien. Zogenaamde empirische wetten voldoen niet aan deze voorwaarde en zijn slechts als modellen te beschouwen. Schaalinvariantie, een symmetrie, biedt een verklaring voor de opvatting dat de formulering van fysische wetten esthetisch moet kunnen zijn. We kunnen een verband onderkennen tussen eenvoud, schoonheid en symmetrieën.

Machtswetten zouden op een patroon wijzen dat typisch is voor complexe systemen. Dit is bijvoorbeeld het geval voor de machtswetten die voor de (allometrische) verhoudingen van levende wezens gelden en door schaalinvariantie gekenmerkt worden. Het overal opduiken van machtswetten wordt soms 'universality' genoemd.

Meestal wordt dimensionele analyse toegepast als proef om het resultaat van een wiskundige afleiding te verifiëren. Minder bekend is dat dimensionele analyse ook kan gebruikt worden om de vorm van modellen en wetten af te leiden. Daarbij laat dimensionele analyse ons toe om overbodige parameters te elimineren. We mogen echter niet uit het oog verliezen dat met alle relevante parameters rekening moet gehouden worden, zelfs als die constant blijven in het beschouwde geval.

4.2. Drie complementaire invalshoeken

Bij de studie van de mechanica in het middelbaar onderwijs werden de wetten van Newton in de dynamica centraal gesteld. Er bestaan echter meer mogelijkheden om het gedrag van mechanische systemen te bepalen. We kunnen drie belangrijke uitgangspunten voor de dynamica 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, veelal een minimum, streeft tijdens een toestandsverandering.¹¹⁸ Deze minder bekende energetische benadering wijst op een vorm van doelgerichtheid: het nastreven van het minimum of maximum.

¹¹⁵ Zie: <http://mod-est.tbm.tudelft.nl/wiki/index.php/Dimensieanalyse> en http://en.wikipedia.org/wiki/Dimensional_analysis

¹¹⁶ Zie: <http://nl.wikipedia.org/wiki/Machtsfunctie> en http://en.wikipedia.org/wiki/Power_law
Machtswetten zijn schaalinvariant. Zie:

http://en.wikipedia.org/wiki/Power_law#Scale_invariance en

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

¹¹⁷ Zie: http://nl.wikipedia.org/wiki/Dimensie_van_een_grootheid#Een_voorbeeld

¹¹⁸ Het verschil tussen de kinetische energie en potentiële energie wordt de 'Langrangiaan' (Lagrange-functie) genoemd. Zie: <http://nl.wikipedia.org/wiki/Lagrangiaan> en <http://en.wikipedia.org/wiki/Lagrangian>

- 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.¹¹⁹

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

Variationele principes vinden we niet alleen in de mechanica. De wet van Snellius of brekingswet uit de optica 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.¹²⁰

We hebben er reeds op gewezen dat 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 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.¹²¹ 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 invalshoek¹²²:

- *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 fundamentele 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

¹¹⁹ Zie: http://nl.wikipedia.org/wiki/Stelling_van_Noether

¹²⁰ Het principe van Fermat. Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/Fermat%27s_principle

¹²¹ Deze drie invalshoeken doen denken aan een ontwerpmethodologie uit de ingenieurswetenschappen waarin men aanraadt: "*Bottom-up, top-down, meet in the middle*".

¹²² 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.

overleven, succesfactoren, selectiecriteria tussen alternatieve mogelijkheden, preferenties in de natuur en metaregels voor de evolutie, efficiëntiecriteria en minima- of maximaprinicipes (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), vormvereisten voor wiskundige formulering van de wetten (dimensionele analyse) en bepaalde asymmetrieën die de reële en niet ideale wereld kenmerken. In de wetenschappen 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. Ze leiden tot machtswetten en tot behoudswetten zoals de wetten van behoud van hoeveelheid van beweging en van energie uit de mechanica¹²³ en de wet van behoud van lading uit de elektriciteitsleer. Een asymmetrie zoals causaliteit legt ook beperkingen op aan de vorm die wetten mogen aannemen.¹²⁴

Het gaat om drie reductionistische benaderingen. De eerste invalshoek komt overeen met een 'bottom-up' visie en de tweede met een 'top-down' visie.

Bepaalde behoudswetten zijn zeer algemeen. Dit is bijvoorbeeld het geval voor de wetten van behoud van massa en energie. Ze zijn in verschillende disciplines van kracht, en dit niet alleen voor delen maar ook voor gehelen. Voor deze wetten geldt volgens de speciale relativiteitstheorie van Einstein ook nog dat massa equivalent is met energie. Zowel voor delen als voor gehelen dient de balans van massa en energie sluitend te zijn. Deze behoudswetten kunnen beschouwd worden als eisen die zowel bij 'bottom-up' als 'top-down' benaderingen spelen. Als wet beschouwde relaties mogen de behoudswetten niet overtreden.

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.¹²⁵

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 kunnen we stellen dat deze emergente wetten ook het resultaat zijn van het

¹²³ Zie: http://nl.wikipedia.org/wiki/Stelling_van_Noether#Toepassing

¹²⁴ We kunnen 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.

¹²⁵ Richard Dawkins, *Het toppunt van onwaarschijnlijkheid*, Amsterdam / Antwerpen, Contact, 1996, p. 74.

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.

Er bestaat daarentegen geen twijfel over dat de fundamentele en emergente wetten de werkelijkheid zoals we die nu kennen moeten mogelijk maken. Deze eis legt beperkingen op aan de aard van de wetten die kunnen bestaan. Om de complexe vormen van organisatie die er zijn mogelijk te maken is het alsof de wetten samenwerkten. Er geldt schijnbaar een organiserend principe dat bijvoorbeeld de wording van de mens toeliet. De wetten moeten zo zijn dat ze de mens niet uitsluiten. Dit is een vorm van neerwaartse oorzakelijkheid die in het 'antropisch principe' vastgelegd werd. In hoofdstuk 7 wordt hier verder op ingegaan.

Zeker in de kwantummechanica hebben op symmetrieën gebaseerde hypothesen tot spectaculaire resultaten geleid. De ontdekking van het higgsdeeltje is hiervan een sprekend voorbeeld. Sommigen beschouwen het zoeken naar nieuwe symmetrieën dan ook als een van belangrijkste taken van de fysica. Volgens David J. Gross wordt de exploratie van de fundamentele natuurwetten immers grotendeels geleid door de zoektocht naar en ontdekking van nieuwe symmetrieën.¹²⁶

Zoals Emmy Noether aantoonde kunnen er behoudswetten uit symmetrieën afgeleid worden. De wet van behoud van energie uit de thermodynamica is wel de meest bekende behoudswet. Minder bekend zijn de stelling der virtuele arbeid uit de mechanica en de stelling van Tellegen uit de elektriciteitsleer¹²⁷. Deze invarianties leiden onder meer tot de zeer algemene en krachtige energetische methodes in de ingenieurswetenschappen.¹²⁸ Ook de extremaalprincipes voeren dikwijls tot energetische benaderingen.

Robert Laughlin heeft ernstige bedenkingen bij de micro-reductionistische visie op de werkelijkheid. Er bestaat eigenlijk geen reëel onderscheid tussen fundamentele en eruit afgeleide wetten. Hij stelt de vraag of verklaringen wel met de kleinste bouwstenen moeten beginnen.¹²⁹ Zelfs de kwantummechanica wordt actueel niet meer als het laagste niveau beschouwd en haar wetten kunnen dus niet verder als fundamenteel bestempeld worden. Laughlin ziet emergente wetten als het resultaat is van collectief gedrag en emergentie als een organisatorisch fenomeen.¹³⁰ Hij zoekt dan ook naar organisatorische principes om een alternatieve visie te ontwikkelen. Voorbeelden van emergent georganiseerd gedrag zijn volgens hem kristalvorming, ferromagnetisme en supergeleiding. Er zouden niet alleen op atomaire schaal collectieve organisatorische principes aan het werk zijn maar ook in het 'mesoscopisch' gebied.¹³¹

¹²⁶ Zie: <http://www.pnas.org/content/93/25/14256.full>

¹²⁷ Zie: http://nl.wikipedia.org/wiki/Virtuele_arbeid en http://nl.wikipedia.org/wiki/Stelling_van_Tellegen

¹²⁸ In tegenstelling tot de vectoriële methodes van de mechanica van Newton gaat het hier om scalaire methodes.

¹²⁹ Zie: <http://www.spektrum.de/news/goodbye-weltformel/938492>

¹³⁰ Zie: <http://www.closetotruth.com/series/can-emergence-explain-reality#video-2578> en <http://www.closetotruth.com/series/emergence-fundamental#video-2583>

¹³¹ Het 'mesoscopisch' gebied is gelegen tussen de gebieden met atomaire en macroscopische dimensies. Dit is onder meer het domein van de biologie. Het bewijs of de weerlegging van het bestaan en de universaliteit van organiserende principes in het 'mesoscopisch' gebied wordt de 'middle way' (middenweg) genoemd. Zie <http://www.pnas.org/content/97/1/32.full.pdf>

5. Algemene, overkoepelende en alternatieve benaderingen

Overkoepelende theorieën zijn zeer algemeen toepasbaar en bijzonder geschikt voor het ontwikkelen van een 'top-down' visie op de werkelijkheid. Een mooi voorbeeld hiervan is de systeemtheorie die succesvol in ingenieurswetenschappen aangewend wordt maar nog te weinig bekend is. In de systeemtheorie ziet men de werkelijkheid als bestaande uit een aantal interagerende 'black boxes'. De inhoud van een dergelijke 'zwarte doos' moet niet gekend zijn. Ook in de computerwetenschappen (informatica) vinden we algemene modelleertalen, methodes en methodologieën voor het beschrijven van de werkelijkheid. Deze algemene benaderingen zijn in verschillende domeinen toepasbaar en ook voor andere wetenschappen van belang.

De ingenieurswetenschappen en computerwetenschappen worden door de andere disciplines nog onvoldoende geëxploiteerd als bron voor nieuwe ideeën. Het abstract en wiskundig karakter van deze toegepaste wetenschappen maakt hen echter moeilijk toegankelijk voor buitenstaanders. Een aantal ontwikkelingen zijn nochtans zeer interessant en leveren breed toepasbare generieke benaderingen. Andere generieke benaderingen kunnen we ook de filosofie en de metafysica ontmoeten. De algemene, overkoepelende en alternatieve benaderingen die in dit hoofdstuk voorgesteld worden bieden alternatieve mogelijkheden om problemen aan te pakken indien een traditionele micro-reductionistische aanpak faalt.

5.1. De systeemtheorie en 'black box' benadering

Het systeemdenken is een voorbeeld van een algemene benadering die de specialisaties overstijgt. Deze benadering belicht en benut de overeenkomsten tussen de verschillende theorieën. De meeste ingenieurs zijn vertrouwd met de systeemtheorie, een versie van het systeemdenken waarin wiskundige modellen een grote rol spelen. Deze benadering wordt in uiteenlopende domeinen van de ingenieurswetenschappen gebruikt. De systeemtheorie en het 'black box' concept kunnen aangewend worden als de wetten van de fysica geen oplossing bieden. Ook buiten de ingenieurswetenschappen vonden ze toepassing.

De systeemtheorie is een zeer succesvolle benadering in de ingenieurswetenschappen, de regeltechniek in het bijzonder. De begrippen van de systeemtheorie kunnen onder meer ook op allerhande organisatorische problemen toegepast worden. Uitgaande van het gemeenschappelijke in de wetenschappen verleent de systeemtheorie ons een overkoepelend denkader en een integrerende visie. De systeemtheorie heeft geen specialistische inhoud. Alleen de meest essentiële begrippen die in de verschillende wetenschappen aan bod komen werden er in opgenomen.¹³²

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. Het gedrag van 'black boxes' wordt door modellen beschreven. Een 'black box' kan ook als een systeem beschouwd worden dat uit een aantal onderling verbonden

¹³² 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, pp. 141-179.

deelsystemen bestaat. Volgens de systeemtheorie zijn het de verbindingen die de meerwaarde van een systeem ten opzichte van de optelsom van zijn afzonderlijke deelsystemen bepalen.

Om de werking van een systeem te verklaren wordt het in opeenvolgende stappen opgesplitst in eenvoudige deelsystemen.¹³³ Bij een dergelijke analyse van complexe systemen zoals bedrijfsorganisaties gaat de voorkeur meestal naar een hiërarchische ontbinding (gestructureerde decompositie). Na de analyse volgt een synthese waarbij de verbindingen terug ingevoerd worden. Hoewel we daarbij tot de details afdalen behouden we toch een globaal overzicht op het geheel. De 'Structured Analysis and Design Technique' (SADT)¹³⁴ is een mooi voorbeeld van deze aanpak.

De analytische benadering is een voorbeeld van het "verdeel en heers" principe. Door analyse kan een ingewikkeld probleem in eenvoudiger op te lossen deelproblemen opgesplitst worden. Bij het ontwerpen, bouwen en testen van systemen wordt de analysefase door een synthese gevolgd. Men heeft het dan in de ingenieurswetenschappen bijvoorbeeld over 'top-down design and bottom-up implementation'. De begrippen analyse, synthese en 'black box' vormen de basis van de micro-reductionistische benadering van de wetenschappen.

Dat de 'black box' benadering geldt en in uiteenlopende domeinen kan toegepast worden is merkwaardig te noemen. Deze benadering is eigenlijk gebaseerd op de aanname dat er op hoog niveau wetmatigheden kunnen gelden. Bovendien veronderstellen we dat de informatie over de onderdelen waaruit de 'black box' opgebouwd werd en hun verbindingen niet noodzakelijk is om het globaal gedrag van het beschouwde deel van de werkelijkheid te beschrijven. We kunnen zinvolle uitspraken doen over een bepaald niveau van de werkelijkheid zonder alle onderliggende niveaus te kennen. We nemen ook aan dat het volstaat om alleen de interacties met een relevant deel van de buitenwereld, de omgeving van de 'black box', te beschouwen.

Om de 'black boxes' te modelleren kunnen we gebruik maken van een gamma aan identificatietechnieken.¹³⁵ Daarbij wordt het inwendige van een systeem buiten beschouwing gelaten. Er worden echter wel modellen met een bepaalde wiskundige vorm gebruikt.¹³⁶ Deze vorm moet niet noodzakelijk met de fysische realiteit overeenstemmen maar wel een resultaat opleveren dat het gedrag van het geïdentificeerde systeem zo goed mogelijk benadert. Met behulp van dimensionele analyse en door het invoeren van machts wetten kunnen we het wiskundig model meer fysische inhoud geven. Indien om het model te verbeteren toch informatie over het inwendige van de 'black box' in rekening gebracht wordt spreken we van een 'grey box' of 'grijze doos'.

We zijn omringd met technische systemen zoals toestellen, machines en instrumenten en maken er voortdurend gebruik van. Het gaat voor de meesten van ons om 'black boxes' waarvan we de interne werking eigenlijk niet kennen en zelfs niet moeten kennen om ze te bedienen. We verwachten wel dat deze systemen goed ontworpen zijn, het gewenst gedrag vertonen en aan eisen van kwaliteit en kost voldoen. Om te functioneren wordt een systeem opgebouwd met goedgekozen elementen die op een welbepaalde manier met onderling verbonden zijn en op elkaar afgestemd worden. Denk hierbij bijvoorbeeld aan een radiotoestel.

¹³³ Naast deelsystemen kunnen we ook aspectsystemen beschouwen om de problematiek te vereenvoudigen. De mechanica is bijvoorbeeld een aspectbenadering die zich op richt krachten en bewegingen. Veel wetenschappen zijn aspectbenaderingen.

¹³⁴ Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/Structured_Analysis_and_Design_Technique

Het gaat om een hiërarchisch-structurele benadering. Een vergelijkbare methodologie is IDEF0: <http://en.wikipedia.org/wiki/IDEF0>

¹³⁵ Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/System_identification

¹³⁶ Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/Mathematical_model

We moeten geen ingenieur zijn om te weten dat een technisch systeem niet meer functioneert als een vitaal element faalt¹³⁷. Dit is ook het geval voor levende organismen. Michael J. Behe heeft het dan over 'irreducible complexity' (onherleidbare complexiteit)¹³⁸. Hij onderkent deze karakteristiek op de verschillende niveaus van de werkelijkheid. Een verwant begrip is 'fine tuning' (fijnregeling). Er wordt bijvoorbeeld over de 'fine tuning' van het heelal gesproken.¹³⁹

5.2. Netwerken en structuren

In de ingenieurswetenschappen beschouwen we ook netwerken en structuren. Het gaat om systemen waarbij de variabelen in paren van 'door- en over-veranderlijken' voorkomen.¹⁴⁰ 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.¹⁴¹ Deze paren van veranderlijken maken het mogelijk om een energiebegrip te definiëren. Dit is ook het geval in andere domeinen van de exacte wetenschappen. 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 wetenschappen met elkaar in verband te brengen en analogieën te onderkennen.¹⁴² In de ingenieurswetenschappen beschouwt men 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. Philip Mirowski spreekt dan zelfs van economie als 'sociale fysica' en van fysica als 'economie van de natuur'.¹⁴³

Naast analogie kunnen we ook dualiteit onderkennen bij netwerken en structuren. Dualiteit geeft aan dat we bepaalde wetten correct blijven indien we de door- en over-veranderlijken omwisselen. Dit is bijvoorbeeld het geval voor de stroom- en spanningswetten van Kirchhoff.¹⁴⁴ Analogie en dualiteit zijn verwant met elkaar. In beide gevallen gaat het om een vorm van symmetrie. Een goedgekozen omwisseling van variabelen leidt tot andere wetten die eveneens van kracht zijn.

'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 toegepast worden. De energetische methodes zijn zeer krachtig en kunnen bij de studie van complexe en niet-lineaire systemen gebruikt

¹³⁷ We hebben het hier over een systeem zonder redundantie.

¹³⁸ Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/Irreducible_complexity

De toepassing van dit begrip in de evolutietheorie wordt zeer betwist.

¹³⁹ Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/Fine-tuned_Universe

¹⁴⁰ Dit is het domein van de algemene n-poort theorie of multipoort theorie.

¹⁴¹ Netwerken kennen alleen een topologie, structuren ook een geometrie.

¹⁴² 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

¹⁴³ 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

¹⁴⁴ Zie: http://nl.wikipedia.org/wiki/Wetten_van_Kirchhoff

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')¹⁴⁵ voor sterkteberekeningen is bijvoorbeeld 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.¹⁴⁶ 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 inzake 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. Er wordt dus in deze schijnbaar evidente stelling gesteld dat de energiebalans sluitend is en dat de verbindingen geen energie opnemen. De stelling van Tellegen is op de wetten van Kirchhoff gebaseerd.¹⁴⁷

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)¹⁴⁸ 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.¹⁴⁹ Deze vertraging wijst op causaliteit, een asymmetrie, die dus uit een behoudswet, een symmetrie, volgt. Dit zou er op kunnen wijzen dat het mogelijk is om de asymmetrieën uit symmetrieën af te leiden.¹⁵⁰ Dit is één van de fundamentele vragen die Leo Apostel zich stelde.

Het netwerkbegrip wordt eveneens gebruikt in de betekenis van de grafentheorie¹⁵¹: een web bestaande uit een verzameling van objecten (knopen) die door relaties (takken) met elkaar verbonden zijn. De studie van complexe netwerken is een vrij belangrijk onderzoeksdomein geworden.¹⁵² Er zijn toepassingen in onder meer computernetwerken (het internet), elektrische distributienetwerken, sociale netwerken, biologische netwerken (bioinformatica)¹⁵³ en semantische netwerken. In bepaalde netwerken, de 'scale free' ('schaalvrije') netwerken, vertoont het aantal verbindingen per knoop een waarschijnlijkheidsverdeling die schaalinvariant is en door machtswetten gekarakteriseerd wordt.¹⁵⁴ Eveneens interessant is bijvoorbeeld ook het 'kleine wereld

¹⁴⁵ Zie: <http://nl.wikipedia.org/wiki/Eindige-elementenmethode>

¹⁴⁶ Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/Tellegen%27s_theorem

¹⁴⁷ Op hun beurt kunnen de stroom- en spanningwet van Kirchhoff uit symmetrieën of invarianties afgeleid worden. Zie:

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

http://www.vub.ac.be/CLEA/disseminations/groups-archive/vzw_worldviews/publications/kirchhoff2.pdf

¹⁴⁸ Orthogonaliteit is een belangrijk begrip uit de meetkunde dat naar verschillende domeinen van de wetenschap uitgebreid werd. Zie: <http://en.wikipedia.org/wiki/Orthogonality>

¹⁴⁹ 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.

¹⁵⁰ Volgens de paradox de paradox van Loschmidt. zou dit onmogelijk zijn. Zie:

http://en.wikipedia.org/wiki/Loschmidt's_paradox

¹⁵¹ Zie: <http://nl.wikipedia.org/wiki/Grafentheorie> en http://en.wikipedia.org/wiki/Graph_theory

¹⁵² Zie: http://nl.wikipedia.org/wiki/Complexe_netwerken en http://en.wikipedia.org/wiki/Complex_network

¹⁵³ Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/Biological_network

¹⁵⁴ Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/Scale-free_networks en http://en.wikipedia.org/wiki/Power_law

fenomeen' ('Small-world phenomenon').¹⁵⁵ In maximum zes stappen zouden we iedereen in de wereld kunnen bereiken via 'vrienden van vrienden'.

5.3. Terugkoppelingsmechanismen

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, trachten we 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 onstabielheid. In dit geval volstaat een kleine storing om het systeem tot een ongecontroleerd gedrag te brengen. Een voorbeeld hiervan is een 'rondfluitende' geluidsinstallatie.

In verschillende wetenschappen worden terugkoppelingsmechanismen onderkend.¹⁵⁶ Een mooi voorbeeld uit de fysiologie is de 'homeostase', het regelsysteem dat onder meer de lichaamstemperatuur in wijzigende omstandigheden constant tracht te houden.¹⁵⁷ 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. Willen we zoveel mogelijk problemen vermijden dan moet er ook direct op de optredende storingen zelf gereageerd worden en niet alleen op het effect dat ze met vertraging veroorzaken. We spreken in dit geval van voorwaartskoppeling ('feed forward')¹⁵⁸. Deze techniek wordt bijvoorbeeld toegepast bij centrale verwarming met een buitethermostaat. 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 we bovendien uit de ervaring leren en de modellen aan de gewijzigde omstandigheden aanpassen bekomen we een lerend en adaptief systeem. Een dergelijk systeem bereikt de grenzen van het technisch kunnen.

5.4. Het doelstellingsbegrip

Het doelstellingsbegrip speelt een belangrijke rol in het in de systeemtheorie, het technisch-organisatorisch denken en de ingenieurswetenschappen. Ingenieurs ontwikkelen toestellen, machines, systemen, computerprogramma's en organisaties om bepaalde functies uit te voeren en

¹⁵⁵ Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/Small-world_phenomenon en http://en.wikipedia.org/wiki/Six_degrees_of_separation

¹⁵⁶ Zie: <http://nl.wikipedia.org/wiki/Feedback> of: <http://en.wikipedia.org/wiki/Feedback>

¹⁵⁷ Zie: http://nl.wikipedia.org/wiki/Homeostase_%28fysiologie%29 of: <http://en.wikipedia.org/wiki/Homeostasis>

¹⁵⁸ Zie: <http://nl.wikipedia.org/wiki/Voorwaartskoppeling> of: http://en.wikipedia.org/wiki/Feed_forward_%28control%29

daarbij de gewenste doelstellingen na te streven. Bij het ontwerpen en produceren van producten in de industrie dienen de werknemers de opgelegde doelstellingen te realiseren. De producten moeten aan de vooropgestelde eisen op het gebied van functionaliteit, kwaliteit en prijs voldoen. Aan de productieorganisaties worden ook objectieven op het gebied van planning, kost en kwaliteit opgelegd. Deze doelstellingen moeten de klanttevredenheid, de winstgevendheid en het overleven van ondernemingen garanderen. Het doelstellingsbegrip staat dan ook centraal bij het organiseren en leiden van bedrijven.

Doelstellingen en 'feedback' zijn belangrijke begrippen in de organisatieleer en de managementtheorieën. Een organisatie kan als een doelgericht systeem beschouwd worden. Om de realisatie van de doelstellingen op te volgen en indien nodig bij te sturen worden terugkoppelingen ingebouwd in de organisatiestructuren. We kunnen verschillende niveaus van doelstellingen onderscheiden. De hogere doelstellingen van een organisatie worden in een 'missie' ('mission statement') vastgelegd. Een belangrijke taak van de directie van een organisatie bestaat in het zoeken van een evenwicht tussen interne en externe doelstellingen. De belangen van iedereen waarop de werking van de organisatie invloed heeft mogen immers niet uit het oog verloren worden. Bij onderhandelingen tracht men de doelstellingen van de verschillende betrokken partijen zo goed mogelijk met elkaar te verzoenen.

We hebben reeds gewezen op het belang van het energiebegrip voor het met elkaar verbinden van de verschillende takken van de exacte wetenschappen. Het energiebegrip is ook belangrijk bij het formuleren van extremaalprincipes. Zoals al opgemerkt werd kunnen deze extremaalprincipes als een vorm van doelgerichtheid beschouwd worden. In de menswetenschappen onderkent men eveneens een doelgerichtheid in het menselijk gedrag. Het invoeren van een algemeen doelstellingsbegrip zou dus mogelijkheden kunnen bieden om een brug te slaan tussen de exacte wetenschappen en de menswetenschappen. De theorie van Philip Mirowski is een poging in deze richting.¹⁵⁹ We kunnen doelstellingen in verband brengen met normen, waarden en ethiek.

5.5. Algemene evolutionaire theorie

Zoals we reeds opmerkten kunnen terugkoppelingsschakelingen ('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 komen we vervolgens in nieuwe stabiele toestanden terecht waarin negatieve feedback de overhand haalt.

De evolutietheorie kan ook als een algemene theorie beschouwd worden. Het darwinisme blijkt immers in uiteenlopende takken van de wetenschappen 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.¹⁶⁰ De voorstanders van deze theorie zien overal variatie en selectie plaats vinden. Bovendien wordt aan het toeval een grote rol toegekend. Het gevaar bestaat dat men in evolutionaire theorieën te pas en te onpas een beroep doet op het toeval. In de

¹⁵⁹ 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

¹⁶⁰ 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, Acco, 2008, p. 82.

wetenschappen wordt het toeval dikwijls ingeroepen als een onderliggende verklaring ontbreekt. Soms wordt dan ook van een 'leken-mirakel' gesproken.¹⁶¹

5.6. Generieke benaderingen

Een enigszins verwante algemene benadering bestaat uit het invoeren van generieke modellen en theorieën. Er wordt een zeer algemene concepten aan als uitgangspunt genomen voor het modelleren van de werkelijkheid. De systeemtheorie is een goed voorbeeld van een generieke benadering. Door de generieke modellen een rijke inhoud ('content') te geven kunnen we er voor zorgen dat ze zowel op complexe als op eenvoudige problemen toepasbaar zijn. Door het beschouwen van bijzondere gevallen wordt het dan mogelijk om van het complexe naar het eenvoudige af te dalen. In de informatica wordt veel gebruik gemaakt van generieke methodes. De informatici ontwikkelen dan programma's die zonder herprogrammeren toepasbaar zijn voor een klasse van verwante problemen. Dit is bijvoorbeeld het geval voor 'objecten' in het object georiënteerd programmeren ('object oriented programming')¹⁶². Ook intelligente 'agents'¹⁶³ en ermee verwante 'holons'¹⁶⁴ zijn voorbeelden van het generisch concept die in de ingenieurswereld toegepast worden. De ontwikkelingen in het domein van 'agent gebaseerde modellering', 'multi-agent systemen' en 'multi-agent simulatie' zijn veelbelovend.

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"¹⁶⁵ kunnen we bijvoorbeeld zien als een veralgemeende vorm van het relatiebegrip uit de exacte wetenschappen. 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. Er wordt bijvoorbeeld ook gesteld 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.

5.7. Algemene principes

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 hoofdwetten van de thermodynamica. Simon Stevin gebruikte dit principe om met een gedachte-experiment de regel van het krachtenparallelogram voor het evenwicht van krachten te bewijzen.¹⁶⁶ Er zijn echter nog steeds uitvinders die de ijdele droom van energieproductie met een perpetuum mobile najagen. Het is onmogelijk om een systeem te bouwen waarin inwendig energietransformaties gebeuren waarvan de energiebalans positief is. Zonder externe energietoevoer zal een dergelijk systeem ook niet blijven werken.

¹⁶¹ Naar Iris Fry. Zie: <http://link.springer.com/article/10.1007%2FBF00857591#page-1>

¹⁶² Zie: <http://nl.wikipedia.org/wiki/Objectgeori%C3%ABnteerd>

¹⁶³ Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/Intelligent_agent en http://en.wikipedia.org/wiki/Multi-agent_system

¹⁶⁴ Zie: [http://en.wikipedia.org/wiki/Holon_\(philosophy\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Holon_(philosophy))

¹⁶⁵ Bij Maurice Merleau-Ponty. Hetzelfde idee is bij Whitehead te vinden: "*feeling / being felt*".

¹⁶⁶ Hij ging er van uit dat het onmogelijk was om met een 'bollenkrans' rond twee hellende vlakken een perpetuum mobile te construeren hoewel dit intuïtief toch mogelijk scheen. Zie: http://nl.wikipedia.org/wiki/Cloutcrans_bewijs

Het bewijs van de onmogelijkheid van het perpetuum mobile kan een 'no-go theorem' genoemd worden. 'Gaaf-niet-stellingen' zouden kunnen gebruikt worden om het domein af te bakenen waarin emergente wetten opduiken. In de fysica leggen 'no-go' stellingen de situaties vast die fysisch niet kunnen bestaan.¹⁶⁷ Ze perken dus de zoekruimte in. 'No-go' stellingen kunnen de onmogelijkheid van een reductionistische aanpak in bepaalde gevallen aantonen. De biochemie zou niet in staat zijn om de morfogenese van biologische wezens te verklaren.¹⁶⁸ Het gaat dikwijls om gedachte-experimenten¹⁶⁹. Met dergelijke benaderingen moet omzichtig omgegaan worden. Ze worden soms door de realiteit ontkracht.

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 analoog principe vinden we onder meer ook in de akoestiek (geluidsleer) terug. Dat het om een algemeen principe gaat wordt aangetoond door de onzekerheidsrelaties die in het domein van de signaalverwerking gelden bij harmonische analyse (Fouriertransformatie) en 'wavelet'-transformatie.¹⁷⁰

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 en alles heeft zijn prijs. Niet alleen koks weten goed dat "The proof of the pudding is in the eating". We zijn pas zeker of een idee realistisch is als we het in de werkelijkheid uitgetest hebben. Een ander voorbeeld is het 'Goldilocks principle' dat extremen afwijst.¹⁷¹ In verband met de analytische methode hadden we het reeds over het "verdeel en heers" principe.

Meer bekend is de 'wet' van Murphy: "Als iets fout kan gaan, dan zal het ook fout gaan". Bijna iedereen die ooit een voorstelling of demonstratie organiseerde is er reeds mee geconfronteerd geweest. Er doen zich onvoorziene situaties voor die de plannen in de war sturen. Een sterkere formulering luidt: "Alles wat kan gebeuren, zal gebeuren". In de techniek kan ieder mogelijk probleem dat over het hoofd gezien werd onverwacht opduiken en soms zware consequenties hebben. Bij het ontwerp van bijvoorbeeld elektrische toestellen mogen de gevolgen van het falen van onderdelen en van verkeerd gebruik niet uit het oog verloren worden.

Het ontwerp van complexe systemen zoals kerncentrales en vliegtuigen stelt ingenieurs voor grote uitdagingen op het gebied van betrouwbaarheid en veiligheid. Dergelijke systemen moeten spijs fouten blijven functioneren, zich veilig blijven gedragen of beide voorgaande eigenschappen samen bezitten. Ingenieurs spreken dan van systemen die respectievelijk 'fail operational', 'fail safe' en 'fault tolerant' zijn. Om dit te bereiken worden bepaalde deelsystemen bijvoorbeeld 'redundant' uitgevoerd en dus minstens verdubbeld. Dit is ook het geval voor een aantal vitale organen van de mens. Deze problematiek is het onderwerp van de betrouwbaarheidsanalyse.¹⁷²

¹⁶⁷ Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/No-go_theorem

¹⁶⁸ Zie:

http://www.livskvalitet.org/pdf/TSWJ2006%20Human_Development_V_Biochemistry_unable_to_explain_morphogenesis.pdf

¹⁶⁹ Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/Thought_experiment

¹⁷⁰ Signalen kunnen in sinusvormige golven of golftreintjes ontbonden worden. Zie:

http://en.wikipedia.org/wiki/Fourier_transform#Uncertainty_principle en

https://en.wikipedia.org/wiki/Wavelet_transform#Basic_idea

¹⁷¹ Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/Goldilocks_principle

¹⁷² Meer algemeen wordt over RAMS-analyse gesproken. Zie: <http://nl.wikipedia.org/wiki/RAMS>

Begrippen zoals 'feedback' en redundantie zijn niet alleen voor ingenieurs van belang. Het gaat in feite om organisatorische principes. Bij het uitbouwen van organisaties worden best terugkoppelingen en reservemogelijkheden voorzien. Het systeemdenken biedt een structureel-organisatorische visie op werkelijkheid en is bijzonder geschikt voor het oplossen van zowel technische als organisatorische problemen. De toenemende complexiteit van de systemen en organisatiestructuren in de bedrijfs wereld maakt de begrippen van het technisch-organisatorisch denken onmisbaar, niet alleen voor ingenieurs maar ook voor managers. De hiërarchisch structurele benaderingen bieden de mogelijkheid om een 'helicoptervisie' te ontwikkelen. Goede bedrijfsleiders moeten in staat te zijn om de problemen te overzien maar indien nodig toch tot de details af te dalen.

5.8. De ingenieurswetenschappen

Freeman Dyson maakt in *Infinite in All Directions* een onderscheid tussen twee benaderingen van de wetenschappen.¹⁷³ Hij verwijst daarbij respectievelijk naar de steden Athene en Manchester. Athene representeert het meer filosofisch gericht denken, het zoeken naar de universele natuurwetten. Manchester staat voor wat we het ingenieursdenken kunnen noemen, het praktisch aanpakken van de problemen zonder zich veel vragen te stellen over het universum.

In dit hoofdstuk werd reeds herhaaldelijk naar de ingenieurswetenschappen verwezen. Hoewel vooral de wiskunde en fysica er een grote rol in spelen zijn de ingenieurswetenschappen meer dan toegepaste wetenschappen. Om technische en technisch-organisatorische problemen op te lossen werd binnen de ingenieurswetenschappen eigen theorieën en methodologieën ontwikkeld. Daar de problemen dikwijls multidisciplinair van aard zijn was er nood aan algemene benaderingen om ze aan te pakken. Voorbeelden hiervan zijn de systeemtheorie, regeltechniek, netwerktheorieën en ontwerpmethodologieën.

In deze benaderingen staat het modelbegrip zeer centraal.¹⁷⁴ Modellen geven het gedrag weer van de systemen of 'black boxes' waarvoor ze staan. Voorbeelden van modellen zijn wiskundige uitdrukkingen, diagrammen en schema's. Wiskundige modellen kunnen met identificatietechnieken bepaald worden. Maken we gebruik van fysische wetten dan wordt van een "white box" ('witte doos') gesproken. Als het wiskundig model zowel op identificatietechnieken als op wetten gebaseerd wordt hebben we het over een 'grey box' ('grijze doos').

Ontwerpen is een belangrijke opdracht voor ingenieurs. Ze trachten de mogelijkheden die de wetten van de natuur bieden zo optimaal mogelijk te benutten. Om te voorspellen of een ontwerp aan de gestelde eisen zal voldoen maken ingenieurs gebruik van modellen en voeren ze berekeningen en simulaties uit. Om zeker te zijn dat het ontwerp aan de wensen beantwoordt worden één of meer prototypes gebouwd en getest. Ingenieurs worden ook veel met regel-, besturings- en beheersingsproblemen geconfronteerd. De meest geavanceerde regelsystemen gebruiken adaptieve modellen en hebben predictieve karakteristieken.¹⁷⁵ Zelfs dan blijven 'eenvoudige' terugkoppelingen nog belangrijk.

¹⁷³ "Dyson compares the Athenian search for timeless, general, universal laws of nature at the highest level of abstraction with the gutsy, hands-on practicality of those who made the Industrial Revolution, and their supporting scientists and engineers who rolled up their sleeves and worried how this would work in that situation before they tried to comprehend the universe."

Zie: <http://www.nybooks.com/articles/archives/1988/oct/27/mighty-manchester> en <http://www.amazon.com/Infinite-All-Directions-Lectures-April-November/dp/0060728892> en

¹⁷⁴ Zie: <http://nl.wikipedia.org/wiki/Modelvorming>

¹⁷⁵ Zie bijvoorbeeld: http://en.wikipedia.org/wiki/Model_predictive_control

De micro-reductionistische aanpak is ook zeer succesrijk in de ingenieurswetenschappen. Men daalt in dit domein echter meestal niet tot een microniveau af. Er wordt bijvoorbeeld uitgegaan van 'black box' modellen van de componenten waaruit een systeem bestaat. Bij het ontwerpen, besturen en beheersen stuiten we echter op beperkingen van deze aanpak. Niet-lineaire systemen kunnen immers onverwacht een onvoorspelbaar gedrag vertonen dat bovendien nog onbekend is. Omwille van idealisering, vereenvoudigingen, storingen en ontbrekende informatie geven de gebruikte modellen de werkelijkheid ook niet altijd volledig correct weer. Soms zijn ingenieurs zich onvoldoende bewust van de beperkingen van de modelbenadering.

In de ingenieurswetenschappen richt men zich niet alleen op het verwerven en structureren van kennis. Het rationeel manipuleren van de mogelijkheden die de natuur biedt is de hoofdzaak. Het gaat dus niet alleen om het theoretisch 'kennen' maar ook om het in de praktijk 'kunnen'. Ingenieurs (en technici) worden geconfronteerd met een weerbarstige werkelijkheid. Volgens de wetten van de natuur is niet alles mogelijk. De werkelijkheid gedraagt zich ook meestal niet volledig zoals in de 'ideale' gevallen waarop veel theorieën gebaseerd zijn. Voor talrijke problemen is tevens geen wetenschappelijke oplossing beschikbaar. Er moet dan een beroep gedaan worden op ervaring en intuïtie.

Zoals we reeds herhaaldelijk opmerkten houdt het emergente voorspelbaarheidsproblemen in. Het beperkt dus de mogelijkheden om de werkelijkheid op een modelgebaseerde manier rationeel te manipuleren en te beheersen. Emergentie gaat ook echter gepaard met creativiteit en nieuwheid. Om te innoveren kunnen we pogen om de emergente eigenschappen van de werkelijkheid bewust te exploreren, te stimuleren en te benutten.¹⁷⁶ Speculatieve theorieën en wetenschappelijk onderzoek bieden mogelijkheden om de 'ruimte' van het ongekende te verkennen.

Voor het ontwikkelen van vernieuwende systemen volstaat de intellectuele bagage van de ingenieur echter niet altijd om een goed resultaat te boeken. Veel van wat ingenieurs doen zijn immers 'stappen in het duister'. Zeker voor grootschalige en complexe systemen houdt het nieuwe dikwijls onderschatte risico's in. De ingenieurs zijn dan op risicomanagement aangewezen. Dit alles geldt niet alleen voor ingenieurs maar ook in andere toepassingsdomeinen van de wetenschappen. Uiteindelijk zal de mens de grenzen van zijn kennen en kunnen moeten leren aanvaarden.

¹⁷⁶ Richard Steel wijst op mogelijkheid om voorwaarden voor het stimuleren van emergentie te creëren in organisaties. Hij wil daarbij het " " doorbreken. Zie:
<http://doingbetterthings.pbworks.com/f/RICHARD+SEEL+Emergence+in+Organisations.pdf>

6. Het zeldzame, unieke en niet-repetitieve in de werkelijkheid

Emergentie leidt in de hogere lagen van de werkelijkheid tot een grotere variëteit en diversiteit. We hebben bijgevolg meer met het zeldzame en zelfs unieke en niet-repetitieve te doen. Hieraan werd in dit boek nog geen aandacht besteed. Het eenmalige en niet-herhaalbare speelt nochtans een belangrijke rol in de menswetenschappen. Het maakt de voorspelbaarheid van dergelijke verschijnselen onmogelijk. De belangstelling voor zeldzame en moeilijk te voorspellen gebeurtenissen die een grote impact hebben groeit echter. De financieel-economische crisissen zijn hier niet vreemd aan.

6.1. Niet-repetitive verschijnselen

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.¹⁷⁷ 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. We worden echter ook met micro-reductionistisch onverklaarbare dingen en verschijnselen geconfronteerd die blijkbaar niet repetitief zijn.

Zoals we reeds schreven richt de exacte wetenschappen zich op terugkerende patronen, verschijnselen en dingen die zich in ruimte en tijd herhalen. De niet-repetitieve en unieke 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 onderscheiden van de psychocognitieve, sociale en culturele lagen een moeilijke zaak is.¹⁷⁸ 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 natuurwetten¹⁷⁹? Of kunnen ze niet meer terug optreden omdat ze het resultaat zijn van een onwaarschijnlijk samenvallen van toevalligheden¹⁸⁰ 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

¹⁷⁷ Dit wordt verduidelijkt door het '*Tree of Knowledge System*'. Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/Tree_of_Knowledge_System

¹⁷⁸ 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, Acco, 2008, p. 22-23.

¹⁷⁹ In religieuze termen heeft men het over wonderen of mirakels.

¹⁸⁰ We kunnen in dit geval van 'leken-mirakels' spreken.

decimale cijfers van π (3,14159265358979323846...) zijn er blijkbaar geen terugkerende patronen te bespeuren.¹⁸¹ 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.

6.2. Zeldzame en moeilijk te voorspellen gebeurtenissen

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.¹⁸² 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.¹⁸³ 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.¹⁸⁴ 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.¹⁸⁵

Met de boeken van Nassim Nicholas Taleb zijn zeldzame en moeilijk te voorspellen gebeurtenissen met een grote impact in de belangstelling gekomen.¹⁸⁶ 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 statistisch niet door een normale verdeling maar door een machtswet gekenmerkt. Zoals reeds opgemerkt werd wijst een machtswet op een symmetrie. Didier Sornette voerde het begrip 'dragon-king' ('drakenkoning') in voor de uitschieters ten opzichte van de machtswet-verdeling.¹⁸⁷ Parijs is een voorbeeld van een 'dragon-king' in de statistische verdeling van Franse steden.

¹⁸¹ Dit kon nog niet bewezen worden. Veel wiskundigen nemen echter aan dat de decimale cijfers van π (Pi) 'at random' (toevallig, lukraak) voorkomen.

¹⁸² Zie: http://nl.wikipedia.org/wiki/Nomothetische_en_idiografische_methode

¹⁸³ Men heeft het soms ook over de 'science of unique events'.

¹⁸⁴ Zie: <http://keidahl.terranhost.com/Fall/HIS3104/Popper%20Prediction%20and%20Prophecy.pdf>

¹⁸⁵ "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". "

¹⁸⁶ Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/Black_swan_theory

¹⁸⁷ 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>

7. De intelligente observator

Tot nu toe gingen we er van uit dat de mens als intelligente observator eigenlijk een buitenstaander is. Mag de intelligente observator die deel uitmaakt van de wereld echter zomaar weggedacht worden? Kunnen we ons een objectief beeld van de werkelijkheid vormen zonder ze te beïnvloeden? In hoeverre zijn de wetenschappen door de menselijke psychologie bepaald? Zegt het bestaan van de mens iets over de aard van de werkelijkheid? In dit hoofdstuk gaan we in op deze fundamentele vragen.

7.1. Het observatoreffect.

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 wordt hij geacht op een gepaste en doelmatige manier te 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 volledig los kan gezien worden van het groter geheel en dus eigenlijk een abstractie is¹⁸⁸;
- 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.¹⁸⁹ Om te kunnen meten moet meetproces het beschouwde verschijnsel of systeem in bepaalde gevallen beïnvloeden. Men neemt aan dat dit effect zeer beperkt en verwaarloosbaar is, door bepaalde berekeningsmethodes gecompenseerd kan worden of dat nieuwe meettechnieken het kunnen verminderen. 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 golffunctie.¹⁹⁰ De toestand van een elementair deeltje zou pas bij de observatie vastgelegd worden. Daarbij geldt ook het onzekerheidsprincipe van Heisenberg.¹⁹¹ De plaats en de hoeveelheid beweging van een elementair deeltje kunnen niet samen nauwkeurig bepaald worden. Het gaat om een fundamenteel principe van de kwantummechanica dat niets te maken heeft met het observatoreffect uit de klassieke fysica. Het onzekerheidsprincipe is een gevolg van de 'dubbele natuur' van de kwantumdeeltjes: zowel deeltje als golf.¹⁹²

¹⁸⁸ 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

¹⁸⁹ Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/Observer_effect_%28physics%29

¹⁹⁰ Zie: http://nl.wikipedia.org/wiki/Ineenstorten_van_de_golffunctie of: http://en.wikipedia.org/wiki/Wave_function_collapse

¹⁹¹ Zie: http://nl.wikipedia.org/wiki/Onzekerheidsrelatie_van_Heisenberg of: http://en.wikipedia.org/wiki/Uncertainty_principle

¹⁹² Dit sluit niet uit dat het onzekerheidsprincipe ook op macroniveau kan spelen. Het geldt in domeinen waar signalen naar hun harmonische inhoud geanalyseerd worden zoals bijvoorbeeld de geluidslair (akoestiek).

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 oplossen¹⁹³ om de kloof tussen de werkelijke en gewenste situatie dicht te maken. Hierin kunnen we 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.

Door de collaps van de golffunctie tijdens een meting zou de observator de werkelijkheid niet alleen ontdekken maar ook mee creëren. Dit leidt tot het ontdekkings-creatie-beeld¹⁹⁴, één van de interpretaties van de kwantummechanica. De detectie van een kwantumdeeltje zou een essentieel nieuw stukje van de werkelijkheid aan het meetproces toevoegen. De observatie lijkt dan de plaats van het deeltje mee te creëren.

Bovendien speelt de menselijke geest onmiskenbaar een rol in het beeld dat de wetenschappen van de werkelijkheid maken. Dit werd met de 'cirkel van de wetenschappen' door Jean Piaget verduidelijkt.¹⁹⁵ Vertrekkend van de fysica komen we via de scheikunde, biologie, psychologie en de logica en wiskunde bij de fysica terug. De logica en wiskunde zijn een creatie van de menselijke geest en hebben een grote invloed op de ontwikkeling van de fysica.

De wiskunde is zeer belangrijk in de fysica en de ingenieurswetenschappen. De wiskunde blijkt immers een ruime voorraad van modellen ter beschikking te stellen waaruit geput kan worden om de werkelijkheid te beschrijven. We hadden het reeds over de uitspraak van Eugene Wigner aangaande "de onredelijke effectiviteit van de wiskunde in de natuurwetenschappen".¹⁹⁶ Bekend is ook de uitspraak van Galileo Galilei: "het boek van de natuur is geschreven in de taal van de wiskunde"¹⁹⁷ Dat de natuur een wiskundig karakter heeft en dat dit door de wiskunde als product van de menselijke geest gevat kan worden is op zijn minst merkwaardig te noemen.

Het succes van de wiskunde wijst op een zekere mate van overeenstemming tussen menselijke geest en de werkelijkheid. Enerzijds kunnen we de wiskunde opvatten als een abstracte weergave van de werkelijkheid. Anderzijds is het ook mogelijk om de werkelijkheid te beschouwen als een realisatie van de wiskunde. Met de 'Mathematical Universe Hypothesis' (MUH) en de 'Computable Universe Hypothesis' (CUH)¹⁹⁸ kiest Max Tegmark voor de tweede optie en stelt dat de externe werkelijkheid

¹⁹³ "All Life is Problem Solving." Dit citaat is de titel van een boek van Karl Popper (Routledge, New York, 1999).

¹⁹⁴ Diederik Aerts, *De muze van het leven. Quantummechanica en de aard van de werkelijkheid*, Kapellen, Pelckmans, 1993, p. 44.

¹⁹⁵ Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/Unity_of_science en http://www.fondationjeanpiaget.ch/fjp/site/textes/VE/JP50_IEG3_Conclusion.pdf

¹⁹⁶ http://en.wikipedia.org/wiki/The_Unreasonable_Effectiveness_of_Mathematics_in_the_Natural_Sciences

¹⁹⁷ "Philosophy is written in that great book which ever lies before our eyes — I mean the universe — but we cannot understand it if we do not first learn the language and grasp the symbols, in which it is written. This book is written in the mathematical language, and the symbols are triangles, circles and other geometrical figures, without whose help it is impossible to comprehend a single word of it; without which one wanders in vain through a dark labyrinth." Zie: http://en.wikiquote.org/wiki/Galileo_Galilei

¹⁹⁸ Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/Mathematical_universe_hypothesis en <http://arxiv.org/pdf/0704.0646v2.pdf> De drie hypothesen van Max Tegmark zijn:

een mathematische structuur is die aan de eis van berekenbaarheid¹⁹⁹ voldoet. Deze hypothesen leggen dus op een verband tussen het bestaan van de wiskunde en de eigenschappen van de werkelijkheid. Ze wijzen op een vorm van het 'antropisch principe'.²⁰⁰

7.2. Het antropisch principe

Dat de mens bestaat zegt iets over het bestaan en de evolutie en de werkelijkheid.²⁰¹ Dit idee wordt geformuleerd in het 'antropisch principe'. Er bestaat een verband tussen het er zijn van de mens en de eigenschappen van het heelal. Volgens een zwakke vorm van het antropisch principe dient de aard van de werkelijkheid zo te zijn dat de mens kon ontstaan. De natuurwetten moeten bijvoorbeeld het ontstaan van intelligent koolstofgebaseerd leven toelaten. 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 bestaande wezens.

Het antropisch principe stelt in feite dat het fysisch universum compatibel moet zijn met bewust leven waardoor het geobserveerd wordt.²⁰² Volgens Max Tegmark kan aan deze eis voldaan worden als de 'mathematische universum hypothese' geldt. Een volledig mathematische fysische wereld zou complex genoeg moeten zijn om wezens met een zelfbewustzijn te bevatten. Het is aanneembaar dat in zo een wereld de menselijke geest de wiskunde kon ontwikkelen. Anderzijds kunnen we ook zeggen dat de menselijke geest zo moet zijn dat hij in staat is om de werkelijkheid te denken. Het brein en de hersenfuncties dienen bij machte te zijn om een beeld van de werkelijkheid te vormen en doeltreffende beslissingen te nemen. Neo-darwinisten zullen de intelligentie van de mens toeschrijven aan het evolutieproces.

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, zinloos is;²⁰³
- over een werkelijkheid zonder intelligente observator niets zinvol gezegd kan worden;
- een werkelijkheid zonder intelligente observator geen betekenis heeft.

- *External Reality Hypothesis (ERH): There exists an external physical reality completely independent of us humans.*

- *Mathematical Universe Hypothesis (MUH): Our external physical reality is a mathematical structure.*

- *Computable Universe Hypothesis (CUH): The mathematical structure that is our external physical reality is defined by computable functions.*

¹⁹⁹ Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/Computability_theory

²⁰⁰ Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/Mathematical_universe_hypothesis

²⁰¹ Zie: http://nl.wikipedia.org/wiki/Antropisch_principe

²⁰² Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/Anthropic_principle

²⁰³ 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.

Het antropisch principe vormt de basis van het antropisch voorspellen en redeneren.²⁰⁴ Fred Hoyle voorspelde bijvoorbeeld een onbekende resonantie van de koolstof-12 kern. Bij het antropisch redeneren wordt het principe niet alleen toegepast uitgaande van het bestaan van de mens zelf. Het antropisch redeneren vertrekt immers ook vanuit de voorwaarden voor zijn bestaan zoals het leven en het universum. Meer algemeen kunnen we voor alle bestaande wezens stellen dat de werkelijkheid zo moet zijn dat hun ontstaan mogelijk was. De wetten die door de wetenschappen aanvaard worden moeten ook zo zijn dat ze het bestaan en de evolutie van de kosmos en het leven kunnen verklaren of op zijn minst niet uitsluiten.

Het antropisch redeneren laat soms toe om indien een theorie verschillende oplossingen heeft een aantal oplossingen uit te sluiten. Alleen de oplossingen die het bestaan van de mens niet onmogelijk maken worden weerhouden. Dit is bijvoorbeeld het geval in de snarentheorie en de multiversum theorie. John Barrow en Frank Tipler gebruiken het 'kosmologisch antropisch principe' om een verband te leggen tussen de onveranderlijke aspecten van de structuur van het universum en de voorwaarden voor ons bestaan.²⁰⁵ Deze voorwaarden leggen beperkingen op aan de waarden die de natuurconstanten kunnen aannemen. Het heelal lijkt in meerdere opzichten 'fine-tuned for life'²⁰⁶. Als de waarde van bepaalde fysische constanten lichtjes anders was dan zou het koolstof gebaseerd leven er niet zijn. Het antropisch principe wordt soms gebruikt om de 'fine tuning' van het heelal aan te tonen.²⁰⁷

Dat de mens er is zegt iets over de aard van de werkelijkheid. Barrow en Tipler stellen dan ook dat ons zijn een strikt selectie-effect oplegt aan het type van universum waarvan het bestaan verwacht kan worden. We kunnen dus een verband zien tussen het antropisch principe en de natuurlijke selectie. In de multiversum theorie beschouwt Lee Smolin de kosmos als het resultaat van evolutieproces met een 'kosmologische natuurlijke selectie'.²⁰⁸ In de snarentheorie heeft men het ook over een 'string theory landscape' of 'anthropic landscape' naar analogie met het 'fitness landscape' uit het neo-darwinisme.²⁰⁹

Hoewel de meeste fysici terughoudend zijn tegenover het antropisch principe wint het toch aan kredietwaardigheid. Het wordt onder meer door Stephen Hawking toegepast in de kwantum kosmologie om de 'dierentuin' aan oplossingen van de membraantheorie in te perken.²¹⁰ Samen met Thomas Hertog ontwikkelde hij een op het antropisch principe gebaseerde 'top-down' benadering van de kosmologie.²¹¹ Steven Weinberg stelde zelfs dat hoe groter het aantal mogelijke waarden voor fysische parameters die de snarentheorie oplevert, hoe meer het antropisch redeneren gerechtvaardigd wordt als een fysische basis voor de snarentheorie.²¹²

²⁰⁴ Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/Anthropic_principle#Applications_of_the_principle

²⁰⁵ Zie: <http://adsabs.harvard.edu/full/1981QJRAS..22..388B> en http://www.amazon.com/Anthropic-Cosmological-Principle-Oxford-Paperbacks/dp/0192821474#reader_0192821474

²⁰⁶ Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/Fine-tuned_Universe

²⁰⁷ Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/Anthropic_principle#Anthropic_coincidences

²⁰⁸ Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/Lee_Smolin#Cosmological_natural_selection en http://evodevouniverse.com/wiki/Cosmological_natural_selection_%28fecund_universes%29
Men spreekt ook van 'fecund universes' ('vruchtbare universa').

²⁰⁹ Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/String_theory_landscape en

http://en.wikipedia.org/wiki/Anthropic_principle#String_theory

²¹⁰ Zie: <http://www.hawking.org.uk/quantum-cosmology-m-theory-and-the-anthropic-principle.html>

²¹¹ Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/Fine-tuned_Universe#Top-down_cosmology en <http://arxiv.org/pdf/hep-th/0602091v2.pdf>

²¹² "The larger the number of possible values of physical parameters provided by the string landscape, the more string theory legitimates anthropic reasoning as a new basis for physical theories: Any scientists who study

We leven een ruimte-tijd met drie dimensies voor de ruimte en één voor de tijd. Gottfried Wilhelm Leibniz had reeds het bijzondere hiervan opgemerkt.²¹³ Hij suggereerde dat een wereld met dergelijke ruimte-tijd dimensies tezelfdertijd de eenvoudigste in hypothese en de rijkste in fenomenen is. Max Tegmark gebruikt een antropische redenering om het bevoorrechte karakter van een 3+1 ruimte tijd aan te tonen.²¹⁴ Andere mogelijkheden zijn onder meer te eenvoudig, onvoorspelbaar of onstabiel.

Einstein gaat nog verder dan de vaststelling dat een werkelijkheid zonder intelligente observator geen betekenis heeft. Hij wijst erop dat het opzet van een reële externe wereld zinloos zou zijn zonder zijn begripbaarheid.²¹⁵ Dit brengt ons tot de diepere aard van de werkelijkheid.

nature must live in a part of the landscape where physical parameters take values suitable for the appearance of life and its evolution into scientists." Zie: <http://arxiv.org/pdf/hep-th/0511037v1.pdf> p. 3.

²¹³ Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/Spacetime#Privileged_character_of_3.2B1_spacetime

²¹⁴ Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/Anthropic_principle#Spacetime

²¹⁵ "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

8. De diepere aard van de werkelijkheid

De ontwikkeling van ons wetenschappelijk en integrerend denkader heeft ook tot een aantal opmerkelijke vaststellingen geleid. Dat rationele benaderingen mogelijk en succesvol kunnen zijn roepen vragen op. Voor de intelligibliteit van de werkelijkheid en de effectiviteit van de wiskunde bestaat bijvoorbeeld binnen de wetenschappen geen verklaring. We hopen dat deze en andere vaststellingen ons dichterbij de diepere aard en zelfs de 'verborgen agenda' van werkelijkheid kunnen brengen.

De werkelijkheid blijkt echter nog steeds zeer mysterieus van aard te zijn. Het ontgaat ons immers 'wat is er feitelijk aan de hand is' en 'waarom het eigenlijk gaat'. In de kwantummechanica en de kosmologie worden er speculatieve theorieën ontwikkeld om op vragen over de diepere aard van de werkelijkheid te antwoorden. Binnen de wetenschappen is er echter geen alleen wetenschappelijk gefundeerd en bevredigend antwoord op de ultieme vragen te verwachten. Voor de laatste vragen zal naar andere werkelijkheidsinterpretaties moeten verwezen worden.

8.1. Merkwaardige vaststellingen

In de vorige hoofdstukken hebben we een aantal eigenlijk verrassende vaststellingen gedaan die ons misschien dichterbij 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 filosofische en kwalitatieve beschouwingen;
 - om regels vast te leggen waaraan de formulering van natuurwetten moet voldoen;
 - tot een informatiereductie;
- 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 wetenschappen;
- de dualiteit van wetten in diverse wetenschappen;
- terugkoppelingsmechanismen in verschillende lagen van de werkelijkheid;
- algemene principes zoals de onmogelijkheid van een 'perpetuum mobile';
- het zwak antropisch principe en zijn toepassingen;
- de 'fine tuning' van het heelal.

Neo-darwinisten zullen de merkwaardige begrijpbaarheid van de werkelijkheid vanuit een evolutieel 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. Deze modellen 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.

Hoewel het neo-darwinisme bijna een seculiere geloofsovertuiging geworden is, worden bepaalde consequenties van deze leer niet ernstig genomen. We hebben reeds opgemerkt 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, zo niet, dan keren zijn interventies zich tegen hem. Wie deze regels schendt, wordt op korte of lange termijn als individu of als groep afgestraft.²¹⁶ 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. Door de lage geboortecijfers pleegt het Westen demografisch 'zelfmoord'.

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. Deze intelligibliteit wijst op een rede, een logos²¹⁷ in de wereld.

Om begrepen te kunnen worden mag de werkelijkheid niet louter chaotisch²¹⁸ zijn en moeten we in ruimte en tijd terugkerende patronen en wetten kunnen ontdekken. De orde in de natuur sluit de herhaling van dingen en verschijnselen in. 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.

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.

Merkwaardig in verband met de relatie tussen de mens en de werkelijkheid is ook de 'vrije wil-stelling' 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.²¹⁹ Hiermee is echter nog niet bewezen dat de subatomaire wereld indeterministisch van aard is. De elementaire deeltje zouden zich immers door het uitvoeren van de experimenten als indeterministisch kunnen voordoen. Het zou de menselijke interventie zijn die de kwantummechanica indeterministisch maakt.²²⁰ We zijn niet in staat om ons de schimmige

²¹⁶ Dit wordt soms 'immanente rechtvaardigheid' genoemd.

²¹⁷ Zie: <http://nl.wikipedia.org/wiki/Logos>

²¹⁸ Chaotisch in de zin van zonder enige orde.

²¹⁹ Klaas Landsman, *De vrije wil-stelling van Conway en Kochen*, NAW 5/10 nr. 4 december 2009. Zie: <http://www.nieuwarchief.nl/serie5/pdf/naw5-2009-10-4-228.pdf>

²²⁰ Bij het menselijk handelen speelt de vrije wil een rol. De vrije wil wordt soms in verband gebracht met het indeterminisme van de kwantummechanica. Vrijheid vereist echter ook het vermogen tot kiezen binnen een veld van mogelijkheden. Voor meer informatie over vrije wil zie:

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 wetenschappen trachten uitgaande van de eigenschappen van de werkelijkheid het ontstaan en evolueren van het universum te verklaren. Men zoekt de verklaring van deze eigenschappen dan 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 zichzelf verklarende werkelijkheid moeten de eigenschappen van deze werkelijkheid alles kunnen verklaren wat in het universum bestaat. Men neemt in een micro-reductionistische visie aan dat de kwantummechanica (of een 'theory of everything') in staat is om de werkelijkheid te verklaren. De vraag die rijst is of het bestaan van de wetenschap die de kwantummechanica is ook op basis van de kwantummechanica verklaard kan worden. Als dit mogelijk zou zijn komen we in een gesloten verklaringslus terecht, een vicieuze cirkel.

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.²²¹ Binnen de fysica is er nog geen verklaring voor gevonden. We kunnen pogen om aan te tonen waarom hun waarden niet willekeurig zijn. Daarbij wordt bijvoorbeeld een beroep gedaan op de multiversum theorie en het antropisch principe.²²² Met een dergelijk bewijs verlaten we echter het domein van de 'zuivere' natuurwetenschappen. Het bestaan en het wezenlijke van de werkelijkheid ontgaat de fysica.²²³

8.2. Diepere aard en verbogen agenda

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.²²⁴ Alfred North Whitehead zag de werkelijkheid als een creatief proces dat tot het ontstaan van nieuwheid leidt.²²⁵ 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

http://nl.wikipedia.org/wiki/Vrije_wil en: Palmyre Oomen (red.), *Vrije wil: een hersenkronkel?*, Zoetermeer, Klement, 2013.

²²¹ Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/Fine-tuned_Universe

²²² Zie bijvoorbeeld: http://en.wikipedia.org/wiki/Fine-tuned_Universe#Multiverse en

<http://www.amazon.com/The-Goldilocks-Enigma-Universe-Right/dp/0547053584>

²²³ 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

²²⁴ Leo Apostel, *Symmetrie en symmetriebreking: ontologie in de wetenschap, (Schets voor een geheel)*, 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. 199.

²²⁵ 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, Acco, 2008, p. 59.

onrust die de status-quo tracht de doorbreken. Symmetriebrekingen maken het mogelijk om de mogelijkheden van de werkelijkheid af te tasten en nieuwe wegen te verkennen. We kunnen in de werkelijkheid een drang tot exploratie en vernieuwing onderkennen. 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 en spaarzaamheidsbeginselen 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. Gottfried Wilhelm Leibniz stelde zelfs dat God de wereld al rekenende schiep²²⁶. De beste van alle mogelijke werelden zou zo min mogelijk kwaad bevatten.

De opeenvolgende symmetriebrekingen hebben tijdens de evolutie tot de emergentie van 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.²²⁷ 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. Dit is bijvoorbeeld het geval voor het verband tussen het aantal inwoners van een stad en het inkomen, de criminaliteit en de creativiteit²²⁸

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.²²⁹ 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

²²⁶ "Dum Deus calculat fit mundus". Zie:

<http://www.ethische-perspectieven.be/viewpic.php?LAN=N&TABLE=EP&ID=737> p. 71

²²⁷ "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>

²²⁸ Zie: https://www.ted.com/talks/geoffrey_west_the_surprising_math_of_cities_and_corporations en <http://www.pnas.org/content/104/17/7301.full>

Geoffrey West verwijst voor een verklaring van machtswetten die bij levende wezens optreden naar hun netwerkstructuren: "There is an extraordinary regularity. So you tell me the size of a mammal, I can tell you at the 90 percent level everything about it in terms of its physiology, life history, etc. And the reason for this is because of networks. All of life is controlled by networks -- from the intracellular through the multicellular through the ecosystem level."

²²⁹ Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/Constructal_theory

krijgt tot de stromen die er door vloeien.²³⁰ De bestaande configuraties worden vervangen door configuraties waarin de stroming globaal gezien gemakkelijker is. Deze wet geeft in feite een algemeen extremaalprincipe weer.²³¹ 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 spreekt van een interne teleologie, een van binnenin opgelegde doelgerichtheid.²³² 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 van 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 een 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.²³³ Het balanceren op deze rand heeft tot gevolg dat het leven zich zowel stabiel als adaptief kan gedragen. 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.

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

²³⁰ Adrian Bejan and Sylvie Lorente, *The constructal law of design and evolution in nature*, Phil. Trans. R. Soc. B (2010) 365, 1335–1347.

²³¹ 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).

²³² 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

²³³ Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/Edge_of_chaos.

8.3. Speculatieve theorieën

In de kwantummechanica en de kosmologie worden een aantal nog speculatieve theorieën ontwikkeld over de diepere aard van de werkelijkheid. We hadden het reeds over problemen die de interpretatie van de kwantummechanica stelt. Gerard 't Hooft is ongelukkig met de waarschijnlijkheidsinterpretatie en voert een diepere laag van de kwantummechanica in die deterministisch van aard is.²³⁴ Na de ontdekking van het Higgs-deeltje groeide in de deeltjesfysica de vraag naar de onderliggende fysische structuur van het Standaardmodel.²³⁵ Het Standaardmodel van de deeltjesfysica laat sommige fenomenen onverklaard.²³⁶ Men heeft het dan ook soms over een 'theory of almost everything'. De zoektocht naar een complete 'Theory of Everything' is nog open. Over de waarde van de snaar- en membraamtheorie zijn de meningen immers verdeeld.²³⁷

In de theoretische fysica hoop men dat nieuwe 'theorieën van alles' een beter inzicht kunnen verschaffen over de diepere aard van de werkelijkheid. Een verrassende theorie is gebaseerd op het 'amplituhedron', een juweelachtig geometrisch object.²³⁸ Deze geometrische theorie blijkt de berekening van interacties tussen elementaire deeltjes sterk te vereenvoudigen. Ze gaat in tegen het basisidee dat ruimte en tijd fundamentele componenten van de werkelijkheid zijn en zou toelaten om de kwantumveldentheorie te herformuleren. Opvallend is ook een theorie die op de 'monster groep' gebaseerd is.²³⁹ Het 'symmetrie monster' kan vergeleken worden met een sneeuwvlok in een groot aantal dimensies en met immens veel symmetrieën. Deze groep zou bepaalde elementaire deeltjes uit het Standaardmodel kunnen verklaren en aantonen dat het fysisch universum wiskundig van aard is.²⁴⁰

Ook in de kosmologie worden nieuwe theorieën ontwikkeld en zoekt men naar mogelijke verklaringen voor het universum. We hebben reeds gewezen op de sterkere formulering van de 'wet' van Murphy: "Alles wat kan gebeuren, zal gebeuren". In de multiversum theorie wordt bijvoorbeeld aangenomen dat de mogelijke universa in parallel bestaan.²⁴¹ Eén van de versies van deze hypothese is gebaseerd op de vele-werelden interpretatie van de kwantummechanica.²⁴² Zoals al gesteld werd zouden de bestaande universa dan volgens Lee Smolin het resultaat zijn van een kosmische natuurlijke selectie.²⁴³

²³⁴ Zie: <http://www.nature.com/news/2003/030108/full/news030106-6.html> en <http://arxiv.org/pdf/quant-ph/0212095v1.pdf>

²³⁵ Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/Particle_physics en http://en.wikipedia.org/wiki/Particle_physics#Future

²³⁶ Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/Standard_Model

²³⁷ "*M-theory (and string theory) has been criticized for lacking predictive power or being untestable. Further work continues to find mathematical constructs that join various surrounding theories. However, the tangible success of M-theory can be questioned, given its current incompleteness and limited predictive power.*" Zie: <http://en.wikipedia.org/wiki/M-theory>

²³⁸ Zie: <http://en.wikipedia.org/wiki/Amplituhedron> en <http://www.simonsfoundation.org/quanta/20130917-a-jewel-at-the-heart-of-quantum-physics>

²³⁹ Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/Monster_group en http://www.fi.uu.nl/wiskrant/artikelen/291/291september_boekbespreking-krabbendam.pdf

²⁴⁰ Zie: http://www.ptep-online.com/index_files/2011/PP-27-11.PDF

²⁴¹ Zie: <http://en.wikipedia.org/wiki/Multiverse>

²⁴² Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/Many-worlds_interpretation en http://en.wikipedia.org/wiki/Multiverse#Max_Tegmark.27s_four_levels

²⁴³ Zie: http://evodevouniverse.com/wiki/Cosmological_natural_selection_%28fecund_universes%29

De 'Mathematical Universe Hypothesis' (MUH) van Max Tegmark leidt tot verschillende hypothesen over de aard van de werkelijkheid.²⁴⁴ Een gewaagde hypothese houdt in dat alle in de wiskunde geldende mathematische structuren ook in de fysische werkelijkheid bestaan.²⁴⁵ Ze komt overeen met een principe van vruchtbaarheid ('principle of fecundity'). Dit principe stelt dat alle logisch aanvaardbare werelden bestaan.²⁴⁶

Paul Davies verdedigt in het "*Goldilocks Enigma: Why is the Universe Just Right for Life?*" het standpunt dat bepaalde fundamentele constanten juist afgestemd zijn om het leven in het universum mogelijk te maken.²⁴⁷ Het is alsof we een kosmische jackpot winnen. De kosmos is op een onverklaarbare wijze 'hospitable for life' ('biovriendelijk').²⁴⁸ Er zou een onderliggend principe bestaan dat de evolutiemogelijkheden beperkt en de evolutie in de richting van intelligent leven stuwt.

Een universum 'fine-tuned for life' is volgens Paul Davies slechts één van de mogelijkheden voor een ultieme verklaring maar volgens hem de meest plausibele.²⁴⁹ Hij onderscheidt daarnaast onder meer het absurde universum (ons universum is nu eenmaal zoals het is), een zelfverklarend universum (alleen universa met het vermogen tot het voortbrengen van bewustzijn kunnen bestaan), een door een 'intelligente designer' ontworpen universum en het nepuniversum (we leven in een virtuele simulatie). Merk op dat een zichzelf verklarend en scheppend universum een gesloten verklaringsslus en causale kring inhoudt. De mens wordt bijvoorbeeld verklaard door het universum en het universum door de mens. Er zijn nog andere gelijkaardige verklaringsschema's mogelijk. Welk zelfverklarend universum bestaat is echter niet duidelijk.

In "*Why This Universe? Toward a Taxonomy of Possible Explanations*" geeft Robert Lawrence Kuhn een overzicht van 27 mogelijke verklaringen voor het universum.²⁵⁰ Hij onderkent modellen die van het bestaan van één universum of van meerdere universa (multiversum) uitgaan. Bovendien beschouwt hij nog niet-fysische verklaringen en illusies. Gezien de vooruitgang van de kosmologie lijkt de vraag "waarom dit universum?" gemakkelijker te beantwoorden dan de vraag "waarom niet niets?". Op de grote vragen ('Big Questions') wordt in hoofdstuk ... verder ingegaan.

De ontwikkelingen in de wiskunde, kwantummechanica en kosmologie zijn nauw met elkaar verbonden. Ook het informatiebegrip en de informatietheorie blijken nu een rol te spelen. Zoals we reeds opmerkten bestaat er een verband tussen informatie en entropie. Het oorspronkelijk door Gerard 't Hooft voorgesteld 'holografisch principe' is gebaseerd op studies in het domein van de thermodynamica van de zwarte gaten.²⁵¹ Het wordt niet alleen in de kosmologie maar ook in de snarentheorie gebruikt. Volgens het holografisch principe zou het universum kunnen beschouwd worden als een tweedimensionale informatiestructuur die op een kosmische horizon 'geschilderd' is. Er blijkt ook een beperking op de informatiedichtheid van een fysisch systeem te bestaan. Erik

²⁴⁴ De 'theorieën van alles' kunnen ingedeeld worden volgens het al dan niet volledig mathematisch zijn van de fysische wereld en volgens de mate waarin hetgeen mathematisch bestaat ook fysisch bestaat. Zie: <http://arxiv.org/pdf/gr-qc/9704009v2.pdf> p. 1.

²⁴⁶ Zie: <http://arxiv.org/pdf/gr-qc/9704009v2.pdf> p. 3.

²⁴⁷ Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/Cosmic_Jackpot en <http://books.google.com.au/books?hl=nl&id=9hxsTybflWsc&q=>

²⁴⁸ Zie: Jan Van der Veken, *Denken aan al wat is*, Universitaire Pers, Leuven, 1994, p. 103.

²⁴⁹ Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/Anthropic_principle#Character_of_anthropic_reasoning

²⁵⁰ Zie: http://www.skeptic.com/magazine/downloads/skeptic13-2_Kuhn.pdf

²⁵¹ Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/Holographic_principle

Verlinde paste het principe toe om de wet van de zwaartekracht af te leiden²⁵² Het holografisch principe leidt tot het centraal stellen van informatie in de plaats van energie en informatie.²⁵³

Sommige theorieën gaan nog verder en zien computers (samen met de mogelijke programma's) als een model van de werkelijkheid: 'the computational view of nature'. Reeds in een vroege fase van de ontwikkeling van computers werden er vragen gesteld over de 'berekenbaarheid', de mogelijkheid om problemen op te lossen met de computers.²⁵⁴ Bekend is vooral het onoplosbaar stopprobleem of 'halting problem' van Alan Turing.²⁵⁵ Volgens het Church–Turing–Deutsch principe ('CTD principle') kan ieder fysisch proces door een universeel rekenapparaat gesimuleerd worden.²⁵⁶ Deze hypothese vormt het uitgangspunt van de 'digitale fysica'.²⁵⁷ Het universum kan met informatie beschreven worden en zou bijgevolg berekenbaar zijn. In tegenstelling tot de Turing machines zouden de kwantumcomputers aan dit principe kunnen beantwoorden.

Uitgaande van het CTD-principe ontwikkelde David Deutsch een 'multiverse hypothesis'.²⁵⁸ In deze 'theorie van alles' zijn naast ideeën uit de multiversum theorie ook de elementen uit de computertheorie, kennisleer en evolutieleer verwerkt. Deutsch is ook de vader van de 'constructor theory'.²⁵⁹ Een 'constructor' is alles wat transformaties kan veroorzaken in fysische systemen. Tijdens de transformaties verliest de 'constructor' zijn vermogen niet om bepaalde veranderingen te veroorzaken. De 'constructor theory' tracht alle fundamentele wetenschappelijke theorieën uit te drukken in fysische transformaties. Daarbij wordt niet alleen zoals in de fundamentele fysica aandacht besteed aan wat mogelijk is maar ook aan wat niet kan gebeuren (contrafeitelijke transformaties). Een klontje suiker lost spontaan op in koffie maar het omgekeerde proces is onmogelijk. Deutsch hoopt dat zijn theorie een nieuwe en algemene beschrijvingswijze van fysische systemen en wetten zal opleveren. Een nieuwe fundering voor de informatietheorie is reeds het onverwacht resultaat.

In de kwantummechanica en de kosmologie wordt de diepere aard van de werkelijkheid gezocht in 'theorieën van alles'. Deze theorieën zijn dikwijls op abstracte geometrische structuren en wiskundige theorieën gebaseerd. Bovendien blijken ze zeer speculatief en niet allemaal testbaar. Of we van dergelijke theorieën de ultieme verklaring voor de werkelijkheid kunnen verwachten is betwistbaar. In hoeverre deze theorieën het wezen van de werkelijkheid weergeven is ook onduidelijk.

Zelfs succesvolle wiskundige modellen zijn niet noodzakelijk een juiste weergave van het wezen van de werkelijkheid. In het stelsel van Ptolomaeus konden de planetenbanen met een geometrisch model bestaande uit een deferent en epicykels gesimuleerd en voorspeld worden.²⁶⁰ Het stelsel van

²⁵² Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/Entropic_gravity en <http://arxiv.org/pdf/1001.0785.pdf>

²⁵³ De materie wordt dan als een zijnde beschouwd. John Archibald Wheeler zag dit als volgt: wetenschappers mogen de fysische wereld beschouwen "*as made of information, with energy and matter as incidentals.*" Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/Holographic_principle#High-level_summary

²⁵⁴ Zie: <http://nl.wikipedia.org/wiki/Berekenbaarheid> , <http://en.wikipedia.org/wiki/Computability> en http://en.wikipedia.org/wiki/Computability_theory_%28computer_science%29

²⁵⁵ Zie: <http://nl.wikipedia.org/wiki/Stopprobleem> en http://en.wikipedia.org/wiki/Halting_problem

²⁵⁶ Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/Church%E2%80%93Turing%E2%80%93Deutsch_principle

²⁵⁷ Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/Digital_physics

²⁵⁸ Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/The_Fabric_of_Reality

²⁵⁹ Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/Constructor_theory , <http://edge.org/conversation/constructor-theory> en <http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1210/1210.7439.pdf>

²⁶⁰ Zie: <http://nl.wikipedia.org/wiki/Epicykels> en http://en.wikipedia.org/wiki/Deferent_and_epicycle
Dat het model van Copernicus eenvoudiger was dan dat van Ptolemaeus was niet onmiddellijk duidelijk. Dit verklaart gedeeltelijk de moeilijke aanvaarding van het stelsel van Copernicus.

Nicolaus Copernicus dat niet de aarde maar de zon in het centrum stelt van cirkelvormige banen, komt beter met de werkelijkheid overeen. Het stelsel van Ptolomaeus vertrok van een verkeerd uitgangspunt maar was in feite toch geniaal als geometrisch *model*.

Dit voorbeeld doet denken aan het systeem van de dubbele waarheid van Averroës.²⁶¹ Met deze visie trachtte men de spanning tussen geloof en rede en de tegenstelling tussen het stelsel van Copernicus en de Schriften op te heffen. De discussie over de relatie tussen geloof en wetenschap is nog steeds niet volledig afgesloten en leidt dikwijls tot een dovemansgesprek.²⁶² In *Nieuwheid denken* werden er verschillende mogelijkheden besproken: conflict (vijanden), contrast (vreemden) en contact (partners).²⁶³ Onze voorkeur gaat naar de laatste optie. Het gaat om twee verschillende kennisdomeinen die op zijn minst raakpunten met elkaar hebben.

Er blijft nog zeer veel te verklaren. Indien de sterke vorm van emergentie bestaat zal al het ontdekte nooit tot een beperkt aantal fundamentele wetten te herleiden zijn. Er zullen steeds nieuwe wetten gevonden worden die we niet micro-reductionistisch kunnen verklaren. Om deze emergente wetten toch te verklaren zullen de bestaande fundamentele wetten dan niet volstaan. Sommige van de nieuwe wetten zullen als fundamentele wet bestempeld moeten worden om ze te integreren. Dit houdt in dat de wetenschappelijke kennis minder gecomprimeerd kan worden en de micro-reductionistische aanpak aan kracht verliest.

Het creatieve en echt nieuwe is ook niet voorspelbaar. Nieuwheid ontsnapt immers aan de wetenschappelijke benaderingen. De wetenschappelijke theorieën zijn op vroeger verworven kennis gebaseerd. We denken in de lijn van het bestaande verder en kunnen dan ook alleen verschijnselen voorspellen die niet sterk emergent zijn. Voor het echt nieuwe zijn we op speculatieve theorieën aangewezen. De toekomst blijft in nevel gehuld.

Onze zoektocht naar meer inzicht in de complexe werkelijkheid is niet ten einde. Niettegenstaande de grote vooruitgang van de wetenschappen zijn de diepere aard en het wezen van de werkelijkheid nog onduidelijk. Er blijkt ook veel te bestaan en te gebeuren dat niet voorspeld kon worden en waarschijnlijk onverklaarbaar zal blijven. Bovendien is wat er achter het schitterend schouwspel van de werkelijkheid schuilgaat nog steeds mysterieus.

8.4. Het mysterieuze van de werkelijkheid

De vragen rond het ontstaan en bestaan van de wereld hebben nog geen bevredigend wetenschappelijk antwoord gekregen. Een sluitend antwoord op vragen zoals 'waarom niet niets?' en 'waarom dit universum?' is niet van de wetenschappen te verwachten. De werkelijkheid met zijn grote diversiteit aan complexe levensvormen is op zijn minst merkwaardig te noemen. Het wonderlijke van de werkelijkheid wordt door verschillende eminente wetenschappers te berde gebracht.

²⁶¹ Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/Double_truth en Dick Stafleu, *En toch beweegt zij. Geschiedenis van de natuurkunde van Pythagoras tot Newton*, Boom, Meppel, 1992, pp. 48 en 50.

²⁶² Meestal gaat het nu over de evolutietheorie.

²⁶³ Staf Hellemans, *Religie als toegang tot de werkelijkheid* in: Hubert Van Belle en Jan Van der Veken (red.), *Nieuwheid denken. De wetenschappen en het creatieve aspect van de werkelijkheid*, Leuven, Acco, 2008, pp. 163 - 170.

Einstein zag de begrijpbaarheid van de wereld als een eeuwig mysterie.²⁶⁴ Ook Robert Laughlin beschouwt het bestaan van wetten als een mirakel van de natuur.²⁶⁵ Roger Penrose heeft bij de voorstelling van zijn driewereldentheorie over "Three worlds and three deep mysteries".²⁶⁶ Er zijn reeds veel vragen beantwoordt maar er worden nu diepere vragen gesteld.

Volgens Paul Davies is het echter alsof we als het ware een kosmische jackpot wonnen. Om het leven mogelijk te maken moeten bepaalde universele fundamentele fysische constanten immers zeer precies afgestemd zijn.²⁶⁷ Alan Sandage vindt het ook onwaarschijnlijk dat zo een orde uit chaos voortkwam. Er moet een organiserend principe zijn. God is een mysterie voor hem, maar vormt een verklaring voor het wonder van het bestaan.²⁶⁸

Penrose wijst eveneens op de buitengewone graad van nauwkeurigheid die nodig lijkt om de 'Big bang' zoals we die observeren mogelijk te maken. Hij ziet twee oplossingen voor dit probleem: we aanvaarden dat God de beginvoorwaarden bepaalde of we zoeken een wetenschappelijk-mathematische theorie. De tweede oplossing heeft zijn voorkeur. Hij wil zien hoever we met deze mogelijkheid kunnen komen.²⁶⁹

De successen van de wetenschappen hebben ons blind gemaakt voor het wonderlijke van ons bestaan. Sommige wetenschappers hebben ook de indruk gewekt dat onder meer met de evolutietheorie alle vragen opgelost zijn. De evolutietheorie maakt de evolutie begrijpelijk maar geeft geen antwoord op de vraag waar de wetten van de evolutie vandaan komen. Zijn deze (en andere) wetten bijvoorbeeld zelf het resultaat van een evolutieproces met toeval en selectie? Intussen wordt ook duidelijk dat het 'evolutiemechanisme' veel ingewikkelder is dan gedacht.²⁷⁰

Hoe dieper we graven, hoe mysterieuzer de werkelijkheid wordt. Zelfs achter het wetenschappelijk verklaarde schuilt een diepere werkelijkheid die ultieme vragen oproept. Leven we in een door toeval bepaald universum of speelt er een organiserend principe? Is de werkelijkheid zinledig of kunnen we een bedoeling bespeuren? Moeten we uiteindelijk aanvaarden dat de werkelijk is zoals zij is of kunnen we een diepe bestaansgrond ontwaren?

Met soortgelijke vragen overschrijden we de grens tussen de wetenschap en de geloofsovertuiging. Hier stopt de zoektocht naar de diepere aard van de werkelijkheid voor de niet godgelovige. De gelovige vermoedt een bedoeling en hoopt op een bestemming. Hij denkt dat er meer is dan de wetenschappen kunnen bieden en zoekt een zingevende en dragende grond van ons bestaan.

We sluiten deze bedenkingen af met twee vermeldenswaardige opvattingen. Simon Stevin koos 'Wonder en is gheen wonder' als zijn lijfspreuk.²⁷¹ Isaac Beeckman, een leerling van hem en een leermeester van René Descartes, zei dat we in de wetenschappen moet redeneren 'van wonder tot gheen wonder', dus wat wonderlijk is moet verklaren. De theologie moet volgens hem de andere

²⁶⁴ "One may say" *The eternal mystery of the world is its comprehensibility*". Er bestaan verschillende versies van deze quote. Zie: http://en.wikiquote.org/wiki/Albert_Einstein

²⁶⁵ Zie: <http://www.closetotruth.com/series/emergence-fundamental#video-2583>

²⁶⁶ Zie: Roger Penrose, *The Road to Reality. A Complete Guide to the universe*, Vintage Books, London, 2004, pp. 17- 23. Zie voor *Beauty and miracles* en *Questions answered and deeper questions posed* pp. 1039-1045.

²⁶⁷ Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/Cosmic_Jackpot

²⁶⁸ Zie: <http://www.godandscience.org/apologetics/quotes.html>

²⁶⁹ Zie: http://www.skeptic.com/magazine/downloads/skeptic13-2_Kuhn.pdf p.1

²⁷⁰ In *Evolutie van een leer: van Lamarck over Darwin naar Weismann – en terug?* wijst Kevin Verstrepen zlf op een (gedeeltelijke) terugkeer van het lamarckisme. Zie:

<http://www.tijdschriftkarakter.be/evolutie-van-een-leer-van-lamarck-over-darwin-naar-weismann-en-terug>

²⁷¹ Zie: <http://adcs.home.xs4all.nl/stevin>

weg gaan: 'van gheen wonder tot wonder', of nog vanuit de natuur tot de bovennatuur.²⁷² In het wonderlijke van de diepere aard van de werkelijkheid raken wetenschap en geloof elkaar.

²⁷² Zie: http://www.dbnl.org/tekst/beec002jour02_01/beec002jour02_01_0009.php pp. 375 en <http://www.trouw.nl/tr/nl/4512/Cultuur/archief/article/detail/1597153/2010/08/28/Alles-beweegt-maar-zonder-Schepper.dhtml>

Appendix

A.1. Uiteenlopende visies

Het geheel van de 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.

In de volgende punten gaan we beknopt in op twee vragen. Wat zijn de voorname kenmerken die we in de werkelijkheid kunnen onderkennen? Welke belangrijke visies en benaderingen komen in de wetenschappen aan bod?

A.1.1. Algemene kenmerken

Bij de studie van de werkelijkheid worden een aantal algemene kenmerken²⁷³ 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;
- 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

²⁷³ 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.

weg tussen twee punten in de kortste tijd af en zoekt dus de snelste weg.²⁷⁴ 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.²⁷⁵

A.1.2. Visies en benaderingen

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 scalaire (met getallen) methoden;
- op wiskundige analyse (differentiaal- en integraalrekening) of op optimalisatietechnieken (variationele, extremum, mini-max methoden) gebaseerde benaderingen;
- geldigheid (bruikbaarheid) of waarheid (juistheid, echtheid, in werkelijkheid)²⁷⁶;
- modellen of wetten;
- synchrone en diachrone benaderingen²⁷⁷;
- ontologische of epistemologische visies²⁷⁸;
- existentie (het er zijn) en essentie (het wezenlijke, de aard van de dingen).

A.2. Meer over emergentie

In de wetenschappen gaan we er van uit dat de werkelijkheid kenbaar en verstaanbaar is. We trachten de werkelijkheid met relaties te beschrijven en in wetten en theorieën te vatten. Het is tevens de bedoeling om deze theorieën met elkaar in verband te brengen en de wetenschappelijke kennis tot een consistent en samenhangend web van relaties te integreren. In deze appendix gaan

²⁷⁴ Het principe van Fermat. Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/Fermat%27s_principle

²⁷⁵ "I, at any rate, am convinced that He [God] does not throw dice". Zie:

http://en.wikipedia.org/wiki/Bohr%E2%80%93Einstein_debates

²⁷⁶ 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.

²⁷⁷ Het micro-reductionisme is een voorbeeld van een synchrone benadering. De diachrone benaderingen richten zich op het evolutieve karakter van de werkelijkheid.

²⁷⁸ Ontologie is een tak van de filosofie waarin vragen gesteld worden over al wat is en de relaties tussen het zijn en de zijnden. Epistemologie richt zich op de mogelijkheden en grenzen van de menselijke kennis.

we in op een kennisvisie op emergentie en plaatsen we dit begrip in het kader van axiomatisch gestructureerde theorieën.

A.2.1. Relaties tussen theorieën

Om het emergentiebegrrip verder te verduidelijken bespreken we eerst de relaties tussen theorieën. Belangrijke noties betreffende 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. In de axiomatische benadering tracht men dit netwerk op een hiërarchische wijze te structureren met behulp van een minimum aantal goedgekozen uitspraken, axioma's (of postulaten) genoemd. 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 uiteindelijke 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 wetenschappen toepasbaar.

Abstractie en generalisatie spelen een belangrijke rol bij de integratie en unificatie van de wetenschappen. Men tracht dan 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 generieke benadering die in diverse disciplines toepasbaar is.²⁷⁹ Het micro-reductionistisch project volgt een andere methode. Men probeert de verschillende theorieën met elkaar te verbinden en op een axiomastelsel te funderen.

²⁷⁹ 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.

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.²⁸⁰ Er wordt aangenomen dat we uiteindelijk in staat zullen 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 kunnen we nog onbekende uitspraken doen.²⁸¹

A.2.2. Een axiomastelsel

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 axiomastelsels af te leiden. Dit geldt ook voor een natuurwetenschappen die axiomatisch opgebouwd werd. De mechanica kan bijvoorbeeld op de wetten van Newton of op het principe van Hamilton²⁸² gebaseerd worden. We kiezen 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.²⁸³ 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 axioma's van het stelsel om alle geldige uitspraken te bewijzen. Bovendien kunnen we geen uitspraken formuleren waarvan bewezen kan worden 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 stoten we eigenlijk op het emergentieprobleem. Het axiomastelsel is dan niet goed gekozen of er ontbreken axioma's. In

²⁸⁰ Het kunnen in de toekomst ook de axioma's worden van een 'Theory of Everything' (ToE) zoals de snaartheorie of membraantheorie.

²⁸¹ 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

²⁸² Het principe van kleinste werking, een variationeel principe. In de variationele methodes wordt het maximum of minimum van een functie gezocht. Zie: http://nl.wikipedia.org/wiki/Principe_van_Hamilton en http://en.wikipedia.org/wiki/Calculus_of_variations

²⁸³ Dit werd door de Nederlandse astronoom Willen de Sitter aangetoond. Zie: Albert Einstein, *Relativiteit. Speciale en algemene theorie*, Aula, 1988, p. 19.

het tweede geval kunnen we de geldige uitspraken die niet uit het axiomastelsel volgen als emergent beschouwen. Door één of meer van deze uitspraken als axioma bij te voegen is het dan mogelijk om dit stelsel te vervolledigen. In dit axiomatisch kader gezien 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.²⁸⁴ 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 emergentiebegrip. Indien er ook een onvolledigheidsstelling voor de fysica geldt, bestaan er wetten die we niet kunnen bewijzen uitgaande van de axioma's van de kwantummechanica alleen. Om hun geldigheid aan te tonen dienen we 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 af te leiden.²⁸⁵ Als er een fysische equivalent voor de onvolledigheidsstelling van Gödel gevonden kan worden dan zal de grote droom van de exacte wetenschappen en het micro-reductionisme onhaalbaar blijken. Er zullen immers steeds wetten blijven die niet uit de fundamentele wetten van de fysica afgeleid kunnen worden.

A.2.3. Een kennisvisie op emergentie

We vinden in de literatuur tientallen definities van emergentie. Men onderscheidt ook verschillende vormen van emergentie zoals:

- sterke en zwakke;
- ontologische en epistemologische²⁸⁶;
- synchrone of diachrone²⁸⁷;
- theoretische, methodologische en ontologische²⁸⁸.

In de sterke, ontologische vorm van emergentie nemen we aan dat het om een werkelijk bestaand fenomeen gaat²⁸⁹. De zwakke, epistemologische vorm van emergentie wijst op een kennisprobleem

²⁸⁴ *De eerste onvolledigheidsstelling 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

²⁸⁵ *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

²⁸⁶ Volgens de zijnsleer of volgens de kennisleer. Ontologische emergentie kan als een sterke vorm van emergentie beschouwd worden, epistemologische emergentie als een zwakke vorm.

²⁸⁷ Niet of wel rekening houdend met het tijdsaspect.

²⁸⁸ 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>

dat eventueel slechts tijdelijk is en door de vooruitgang van de wetenschappen kan worden opgelost. Een algemeen geldend formeel bewijs dat de sterke vorm van emergentie bestaat is voor zover we weten evenwel nog steeds niet gevonden.

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.²⁹⁰ 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.²⁹¹ 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 nieuwe aspect van emergentie brengen we dus in verband met onafleidbaarheid, onherleidbaarheid, onverklaarbaarheid, onbepaaldheid en onvolledigheid van uitspraken.

We kunnen bijvoorbeeld wetten voor ideale gassen uit de thermodynamica²⁹² als theorie A beschouwen en de botsingswetten van de mechanica²⁹³ als theorie B. Met de kinetische gastheorie proberen we de eigenschappen van een gas (druk, volume en absolute temperatuur) af te leiden uit

²⁸⁹ Onafhankelijk van het kennend subject.

²⁹⁰ 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.

²⁹¹ We kunnen bijvoorbeeld stellen dat de wetten van kwantummechanica zo moeten zijn dat ze de wetten van klassieke fysica op zijn minst mogelijk maken.

²⁹² Zie: http://nl.wikipedia.org/wiki/Algemene_gaswet en http://en.wikipedia.org/wiki/Ideal_gas_law

²⁹³ Zie: http://nl.wikipedia.org/wiki/Botsing_%28natuurkunde%29

de eigenschappen en beweging van de gasmoleculen.²⁹⁴ 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 botsingswetten alleen afgeleid worden. Er moet een relatie tussen de kinetische energie van de moleculen en de absolute temperatuur van het gas ingevoerd worden.²⁹⁵ 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 we de theorie A met de theorie B in een axiomatisch gestructureerde theorie zonder nieuwe axioma's willen verenigen kunnen we 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 we de algemene gaswet gebruiken in de kinetische gastheorie om een brug te slaan naar de thermodynamica.²⁹⁶ 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.²⁹⁷

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 A.2.2 opmerkten kan er ook een onverenigbaarheid bestaan tussen de volledigheid en consistentie van een axiomastelsel.

²⁹⁴ Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/Kinetic_theory

²⁹⁵ 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

²⁹⁶ 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.

²⁹⁷ Zie: http://nl.wikipedia.org/wiki/Statistische_thermodynamica en http://en.wikipedia.org/wiki/Statistical_mechanics

Tot nu toe hebben we in deze appendix een axiomatisch gestructureerde benadering van kennis besproken om het emergentiebegrip 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 niet uit de theorie afgeleid kunnen worden;
- de vereiste 'trigger'²⁹⁸ 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 we hun structuur en inwendige processen niet kunnen 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 emergentie onbeperkt is. Kan er naast een definitie nog iets zinvol gezegd worden over eisen die voor emergente wetten gelden? Het blijkt mogelijk om voorwaarden te formuleren die de keuze van de mogelijke alternatieven beperken en waaraan emergente wetten moeten voldoen. De werkelijkheid wordt daarbij vanuit verschillende invalshoeken beschouwd. Hierop werd in hoofdstuk 3 ingegaan.

Hubert Van Belle

29/09/2014

10/02/2015

21/09/2016

19/03/2018

²⁹⁸ Een trigger is een 'mechanisme' dat een proces in gang zet.