

University of Groningen

De emergentie en evolutie van drie werelden

Vries, André de

IMPORTANT NOTE: You are advised to consult the publisher's version (publisher's PDF) if you wish to cite from it. Please check the document version below.

Document Version

Publisher's PDF, also known as Version of record

Publication date:
2009

[Link to publication in University of Groningen/UMCG research database](#)

Citation for published version (APA):

Vries, A. D. (2009). *De emergentie en evolutie van drie werelden: tweede revisie van Poppers driewereldentheorie*. s.n.

Copyright

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

The publication may also be distributed here under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license. More information can be found on the University of Groningen website: <https://www.rug.nl/library/open-access/self-archiving-pure/taverne-amendment>.

Take-down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Downloaded from the University of Groningen/UMCG research database (Pure): <http://www.rug.nl/research/portal>. For technical reasons the number of authors shown on this cover page is limited to 10 maximum.

Hoofdstuk 2

**Voorbeelden van symmetriebrekingen in
wereld 1, wereld 2 en wereld 3**

Inleiding

In dit hoofdstuk zullen vier concrete voorbeelden van symmetriebrekingen uit verschillende werelden worden uiteengezet. Het doel is om langs een inductieve weg inzicht te krijgen in de structuur van de drie werelden. Daarnaast kunnen pendante symmetriebrekingen in de verschillende werelden mogelijk helderheid verschaffen in de (emergente) relaties tussen de werelden. (Zie paragraaf 3.2.4.) In de volgende hoofdstukken zal op deze vier voorbeelden van symmetriebrekingen worden teruggegrepen. In dit hoofdstuk wordt uitgegaan van de volgende drie aannames:

- 1) het spreken over drie werelden/domeinen en het onderscheid tussen deze werelden/domeinen is gerechtvaardigd. De rechtvaardiging komt voort uit de interesse in de epistemologische perspectiefwisselingen die de werkelijkheid in drie werelden/domeinen uiteen doet vallen. Dat de werkelijkheid naar alle waarschijnlijkheid een meer verfijnde gelaagdheid kent, is hiermee niet in tegenspraak.
- 2) een symmetrie wordt opgevat als een transformatie van een entiteit waarbij sprake is van een variant en een invariant aspect.
- 3) een transformatie is een (letterlijke/figuurlijke) beweging van een entiteit die resulteert in een beeld van die entiteit. Een inverse transformatie is dezelfde beweging in omgekeerde richting.

De aannames 2 en 3 vragen om een korte toelichting.

Het begrip 'symmetrie' is in het dagelijks taalgebruik en in het jargon van de (natuur)wetenschappen sterk gekoppeld aan wereld 1. De begrippen 'symmetrie' en 'symmetriebreking' hebben sterke spatio-temporele connotaties. Wanneer een eventuele transformatie een verandering van een ruimtelijke of temporele parameter betreft, zoals bijvoorbeeld bij spiegelafbeeldingen, is er sprake van een *externe symmetrie*. Daarnaast zijn er ook *interne symmetrieën* waarbij niet direct ruimtelijke of temporele parameters betrokken zijn bij een eventuele transformatie. Het ongestraft kunnen verwisselen van neutronen in een atoomkern is hier een goed voorbeeld van. Hoewel de neutronen op zich een nieuwe ruimtelijke locatie na de verwisseling hebben gekregen, zijn ze zelf niet onderscheidbaar. Gesteld kan worden dat externe en interne symmetrieën analoge concepten zijn die betrekking hebben op wereld 1. Echter, spatio-temporaliteit is iets dat ervaren en geconceptualiseerd kan worden zonder dat deze ervaringen en concepten zelf in tijd en ruimte (wereld 1) gelokaliseerd zijn. Het hanteren van het begrip 'symmetrie' met betrekking tot wereld 2 en wereld 3 vraagt om de introductie van een gegeneraliseerd begrip van symmetrie:

Symmetrie: een symmetrie is een fysische (spatio-temporele) en/of beleefde en/of geconceptualiseerde beweging van een entiteit die resulteert in een fysisch

(spatio-temporeel) en/of beleefd en/of geconceptualiseerd beeld van die entiteit waarbij sprake is van een variant en een invariant aspect.

Algemener gesteld: *een symmetrie is een 'beweging' van een entiteit die resulteert in een beeld/(afbeelding) van die entiteit waarbij sprake is van een variant en een invariant aspect.*

Gegeven deze definitie is het logisch om een gegeneraliseerde notie voor het breken van symmetrieën voor te stellen:

Symmetriebreking: *een symmetriebreking is de overgang van een symmetrische verhouding tussen entiteiten naar een a-symmetrische verhouding.*

Het spreken over *fysische, beleefde* en *geconceptualiseerde* afbeeldingen en bewegingen is noodzakelijk om afbeeldingen en bewegingen van hun dogmatische spatio-temporele inbedding (wereld 1) te ontdoen.

Vanaf nu zal met de begrippen 'symmetrie' en 'symmetriebreking' de gegeneraliseerde vormen worden bedoeld.

De vier gekozen concrete voorbeelden van symmetriebrekingen zijn *Ferromagnetisatie, Regeneratie en voortplanting bij de poliep hydra, Reversibele figuren* en de *Onderdeterminatie van theorieën*. Blijken zal dat deze voorbeelden te beschouwen zijn als instantiaties van de gegeneraliseerde symmetrieën en symmetriebrekingen.

Het fenomeen ferromagnetisatie (paragraaf 2.1.a) is een studieobject uit de fysica en hoort dus thuis in wereld 1. De regeneratie en voortplanting bij de poliep hydra (paragraaf 2.1.b) zijn studieobjecten uit de biologie en horen dus ook thuis in wereld 1.

De keuze om reversibele figuren (paragraaf 2.2) als geschikte voorbeelden te beschouwen van symmetriebrekingen in wereld 2 komt voort uit het feit dat zij studieobjecten van de psychologie zijn geworden. Reversibele figuren leveren waarnemingen en ervaringen op die onmiskenbaar tot wereld 2 behoren.

De onderdeterminatie van theorieën (paragraaf 2.3) behelst de filosofische problematiek omtrent de relatie tussen (wetenschappelijke) theorieën en de werkelijkheid. Aangezien filosofische problemen en theoretische systemen volgens Popper in wereld 3 moeten worden ondergebracht, is de onderdeterminatie van theorieën ook een element uit wereld 3 (Popper en Eccles 1977, 359).

Er is een goede reden om verscheidene voorbeelden uit wereld 1 te bespreken. Ferromagnetisatie is een fenomeen dat optreedt bij bepaalde metalen objecten en

behoort als zodanig tot de 'dode natuur'. Regeneratie en voortplanting daarentegen komen alleen voor bij levende organismen. Wil een ontologische opbouw van de werkelijkheid en de connectie tussen Poppers werelden zo volledig mogelijk tot zijn recht komen, dan is het laten zien van symmetriebrekingen in beide domeinen gerechtvaardigd. Immers, zowel de 'dode' als de 'levende natuur' kan in relatie gebracht worden met wereld 2 en wereld 3.¹

Het doel van dit hoofdstuk is deze voorbeelden 'slechts' te presenteren en nog geen filosofisch garen te spinnen. Afgezien is van het aandragen van verklaringen of oplossingen van de beschreven voorbeelden. Gekozen is de voorbeelden zo te presenteren dat ze direct in verband gebracht kunnen worden met symmetriebrekingen en het optreden van emergente fenomenen. Aan de term 'emergentie' zal in dit hoofdstuk nog geen nadere invulling worden gegeven. Deze invulling komt pas aan bod in de hoofdstukken 3 en 4, waarin o.a. een onderscheid gemaakt wordt tussen synchrone en diachrone emergentie.

2.1.a Een voorbeeld van een symmetriebreking in wereld 1:

*Ferromagnetisatie*²

In de oudheid wist men al dat stukken ijzererts uit de omgeving van Magnesia in Klein-Azië lichte ijzeren voorwerpen konden aantrekken. Dit verschijnsel staat nu bekend onder de naam *magnetisme*. Alle voorwerpen met deze eigenschappen heten

¹ Het onderscheid tussen 'dode' en 'levende' natuur zo groot maken dat wereld 1 wordt opgesplitst in twee verschillende werelden is niet in overeenstemming met de driewereldentheorie van Popper. Popper geeft zelf te kennen dat wereld 1 zowel anorganische als organische elementen kent (Popper en Eccles 1977, 359). Objecten en standen van zaken uit de fysica hebben dezelfde ontologische en epistemologische status als objecten en standen van zaken uit de biologie en zijn als zodanig uitstekend in één domein onder te brengen. Het feit dat al het fysische materiaal in tegenstelling tot biologische organismen in het universum historisch gezien causaal met elkaar in verband staat, doet niets af aan de wijze waarop de laatste, ontologisch beschouwd, tot stand komen. De symmetriebreking die ten grondslag ligt aan het onderscheid tussen energie en massa bepaalt de stand van zaken van het gehele universum. Elke plaats in het universum is causaal verbonden met deze historische gebeurtenis. (Emmeche, Køppe en Stjernfelt 1997: "For instance the symmetry break causing primitive energy to differentiate into energy and mass (an archetypical example of a first-time emergence) seems to determine the present state of the whole universe, hence the very existence of mass, hence the possibility of forming mass out of energy and vice versa.") Het ontstaan van het leven op aarde is daarentegen historisch gezien niet causaal verbonden met het (mogelijke) leven op andere plaatsen in het universum. Echter, aangezien het emergeren van organisatie-niveaus op zich genomen geen causale kwestie is, hoeft wereld 1 niet opgesplitst te worden in twee aparte domeinen.

² Bronnen: Barrow (1991), Mainzer (1996), (2004), Halliday en Resnick (1988).

magneten. Magnetisch ijzer onderscheidt zich niet in kleur, soortelijke massa, enz. van niet-magnetisch ijzer, maar door een *krachtwerking*. De bron van magnetisme is een elektrische stroom, dat wil zeggen lading die zich in een bepaalde richting beweegt. Het oude Bohr-model biedt (in tegenstelling tot de latere quantummechanica) een goed kader om de werking van magnetisme visueel voor te stellen. In magnetische materialen komt de magnetische krachtwerking tot stand door negatieve elektronen die rond de positieve kern van een atoom in een bepaalde richting draaien. Dit wordt *baanmagnetisme* genoemd. Daarnaast brengt het 'rondtollen' van het elektron rond zijn eigen as ook een magnetisch veld met zich mee. Dit wordt *spinmagnetisme* genoemd. Het voorspellen van de magnetische werking van een atoom is een ingewikkelde kwestie, omdat het atomaire magnetisme samengesteld kan zijn uit spinmagnetisme en baanmagnetisme.

De magnetische krachtwerking is niet uitsluitend gekoppeld aan hoof- en staafmagneten en aan kompasnaalden. Ook een elektrische stroom die door een spoel gaat, wekt een magnetisch veld op en ondervindt zelf een krachtwerking van een magnetisch veld. Het draaien van elektronen rond de kern van een atoom is qua werking vergelijkbaar met de metalen wikkels bij een spoel. In beide situaties is er sprake van een *kringstroompje*.

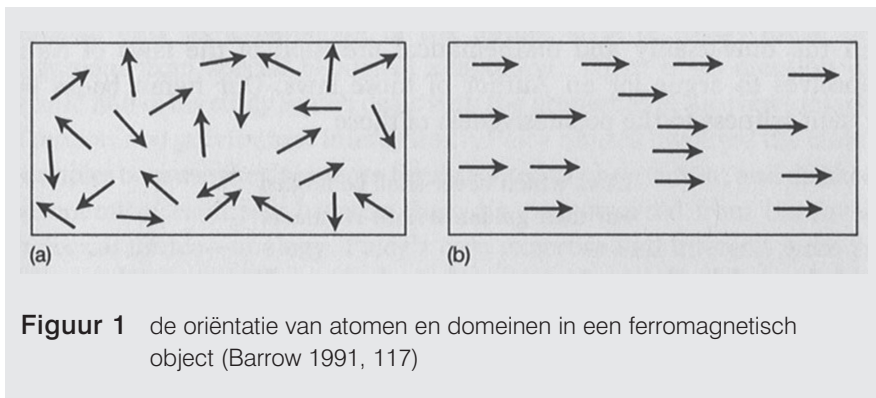
Bij zogenoemde ferromagnetische materialen kunnen onder invloed van temperatuursveranderingen magnetische eigenschappen verdwijnen en weer terugkomen. Wanneer ferromagnetisch materiaal een temperatuur aanneemt die boven een bepaalde kritische waarde (de Curie-temperatuur) ligt, dan houdt dat materiaal op magnetisch te zijn (Halliday en Resnick 1988, 791-795). Voorbeelden van ferromagnetische materialen zijn: kobalt, nikkel, staal en ferriet. Al deze materialen hebben hun eigen Curie-temperatuur. (De Curie-temperatuur van bijvoorbeeld kobalt is 1400 K.) Beneden de Curie-temperatuur neemt bij het dalen van de temperatuur de omvang van de magnetisatie toe. Het fenomeen ferromagnetisme is een quantum effect dat niet beschreven kan worden door de klassieke fysica (Halliday en Resnick 1988, 791-795). Geprobeerd wordt nu een eenvoudige beschrijving te geven van het fenomeen ferromagnetisme in relatie tot symmetriebrekingen.

Wanneer een object magnetisch is, zijn vrijwel alle atomen waaruit het object is opgebouwd in een bepaalde richting georiënteerd. Feitelijk zijn er in een ferromagnetisch object *magnetische domeinen* of *magnetische gebieden* aanwezig als gevolg van de aanwezigheid van *verzamelingen atomen* met een zekere oriëntatie. Magnetische domeinen zijn dus verzamelingen atomen met een zekere oriëntatie die worden afgegrensd door andere groepen atomen (andere domeinen) met een andere oriëntatie. Deze magnetische domeinen zijn niet met het blote oog waarneembaar, maar hebben een microscopische omvang. Daarnaast kan de grootte van de domeinen

door de tijd heen variëren. Ze kunnen zowel groter als kleiner worden. (Zie Halliday en Resnick 1988, 792.) Net zoals de cellen de bouwstenen vormen van een biologisch organisme zo zijn magnetische domeinen de bouwstenen van een ferromagneet.

Het is de specifieke oriëntatie van de magnetische domeinen die er voor verantwoordelijk is dat er sprake is van een noord- en een zuidpool en dus een asymmetrische situatie in een magneet. De oriëntatie van de domeinen komt tot stand door het gebruik van een extern magnetisch veld. Ferromagneten blijven gemagnetiseerd nadat ze bloot zijn gesteld aan een extern magnetisch veld.

Boven een bepaalde temperatuur is de oriëntatie van de domeinen willekeurig en dus symmetrisch verdeeld. De neiging van de verzamelingen atomen of domeinen om zich in een specifieke richting te oriënteren wordt onderdrukt door de sterke thermische bewegingen. Bij een voldoende verhoging van de temperatuur verliest een magneet zijn magnetische krachtwerking en verdwijnt het onderscheid tussen de noord- en de zuidpool. (Zie figuur 1a.)



De willekeur in de oriëntatie van de atomen kan verloren gaan door het opgewarmde object weer te laten afkoelen. Bij het afkoelen neemt de intensiteit van de thermische bewegingen af. De thermische bewegingen werken de ordening van de domeinen steeds minder tegen. Ze vormen een steeds kleinere belemmering om de quantummechanische banden tussen de elektronenspins te herstellen. Er zal een einde komen aan de willekeurige of symmetrische verdeeldheid van de oriëntatie van de verzamelingen atomen. (De omvang van de magnetisatie is een dalende functie van de temperatuur.) Omdat het magnetiseren van het object gepaard gaat met de oriëntatie van de magnetische domeinen zijn er twee situaties die kunnen optreden. In beide situaties is de verdeeldheid van de oriëntatie van de domeinen asymmetrisch.

De aanwijsbaarheid van de noord- en zuidpool, die met het afkoelen van het object weer terugkomen, maken de twee mogelijke asymmetrische situaties concreet zichtbaar. De linkerkant van het ferromagnetisch object is in magnetisch opzicht fundamenteel anders dan de rechterkant. (Zie figuur 1b.)³

Hoewel het verlies van magnetische krachten bij een object exact kwantificeerbaar is, is de symmetriebreking die bij het afkoelingsproces optreedt kwalitatief van aard. De symmetriebreking, die erin bestaat dat de willekeur in de oriëntatie van de domeinen overgaat in een fixatie van de oriëntatie van de domeinen, doet een nieuwe eigenschap emergeren. Immers, de symmetriebreking in ferromagnetische materialen gaat gepaard met het emergeren van een magnetisch veld. De samenstellende delen van het magnetisch veld zijn de groepen atomen met hun (quantummechanische) eigenschappen. Het is een feit dat een atoom of domein op zichzelf genomen als een klein magneetje (*elementair-magneetje*) te beschouwen is. Dit neemt niet weg dat het magnetisch veld van een ferromagneet meer is dan de som van de domeinen met hun eigenschappen, omdat

1) het fenomeen ferromagnetisme zich niet voordoet bij alle soorten metaal. Voor alle metaalsoorten geldt dat ze opgebouwd zijn uit atomen die als kleine magneetjes kunnen worden beschouwd zonder dat het fenomeen ferromagnetisme zich noodzakelijkerwijze voordoet. Zowel bij ferromagnetische metalen als bij metalen die dat niet zijn, hebben de groepen atomen waaruit ze zijn opgebouwd gezamenlijk een bepaalde resultante. Alleen kan deze bij een aantal soorten metalen veranderen door het wijzigen van de condities. Aan de additieve eigenschap massa daarentegen zijn *alle* metalen onderhevig. Ongeacht welke condities er worden gewijzigd, het hebben van een bepaalde massa als zo danig verandert niet.

2) een individueel atoom of domein niet in staat is het verschijnsel ferromagnetisme tentoon te spreiden. Een zelfstandig atoom of domein (bestaand uit een relatief klein aantal atomen) is weliswaar als een klein magneetje te beschouwen, maar wint of verliest niet aan magnetische kracht door een verandering in temperatuur aan te brengen. Hiervoor is, ten opzichte van het object, een *verzameling atomen* (bestaand uit meerdere domeinen) van een zekere omvang vereist. Ferromagnetisme is, in tegenstelling tot magnetisme in zijn algemeenheid, een eigenschap van een systeem en niet van de samenstellende delen waaruit het systeem is opgebouwd.

De conclusie is dat het hebben van een ferromagnetisch veld geen additieve eigenschap maar een emergente eigenschap is. Bij de symmetrische verdeling van de oriëntatie van de domeinen heffen de eigenschappen op *collectief niveau* elkaar

³ De richting van de pijltjes is uiteraard niet echt relevant. Ze hadden ook naar een andere richting kunnen wijzen.

op. De symmetriebreking van de symmetrische *verdeling* brengt de emergentie van het magnetisch veld rond het object met zich mee.⁴ (De situatie in figuur 1b laat ook nog een andere symmetrie zien. Wanneer de figuur in de breedterichting wordt 'doorgesneden' treedt er een spiegelsymmetrie op tussen het bovenste deel en het onderste deel van het plaatje. Echter, wanneer er domeinen in figuur 1b waren opgenomen had deze symmetrie zich niet voorgedaan. Immers, domeinen kunnen een verschillende omvang hebben. De kans dat deze domeinen ook weer een spiegelsymmetrie hadden laten zien is verwaarloosbaar klein.)

2.1.b Een voorbeeld van een symmetriebreking in wereld 1: *Regeneratie en voortplanting bij de poliep hydra*⁵

De zoetwaterpoliep hydra, behorend tot de *holtedieren*, heeft iets weg van een miniatuur-zeeanemoon en wordt gekenmerkt door een gezwollen, cilindervormig lichaam met aan één kant tentakels. Deze tentakels dienen ertoe prooien te vangen en deze via de mondopening, die in het midden van de tentakels gelegen is, naar binnen te krijgen.

De 'hydra' is niet één species, maar is de algemene benaming voor een aantal soorten hydra's. Zo zijn onder meer te onderscheiden de *Hydra attenuata*, de *H. fusca*, de *H. japonica*, de *H. littoralis*, de *H. magnipapillata*, de *H. oligactis*, de *H. paludicola*, de *H. parva*, de *H. pirardi*, de *H. pseudoligactis*, de *H. robusta*, de *H. viridus* en de *H. vulgaris*. De naam 'hydra' is afkomstig van Linnaeus en draagt deze naam omdat bij dit dier, net als bij de gelijknamige veelkoppige waterslang uit de Griekse mythe, voor iedere afgeslagen 'kop' twee nieuwe terugkomen (Grzimek 1975, 209).

In deze paragraaf wordt ingegaan op een aantal symmetriebrekingen die bij de hydra's voorkomen. Verondersteld mag worden dat algemene opmerkingen over de hydra van toepassing zijn op de meeste soorten hydra's. Gekeken wordt naar de uitvoering van een laboratoriumexperiment met de hydra (**sectie A**), naar de ongeslachtelijke voortplanting (**sectie B**) en naar de geslachtelijke voortplanting (**sectie C**) van de hydra. Duidelijk wordt dat de verschillen tussen regeneratie en de ontwikkeling van de poliep Hydra niet erg groot zijn. Dit maakt de Hydra tot een interessant voorbeeld wanneer het om emergentie en symmetriebrekingen gaat.

Sectie A) Alan Turing is vooral bekend geworden door zijn werk als wiskundige en logicus. Maar dat zijn belangstelling verder reikte dan deze vakgebieden blijkt onder

⁴ Zie ook Mainzer 1996, 165-168; 442; 529 en Mainzer 2004, 67; 72; 150-152; 343-344.

⁵ Bronnen: Burnett (1973), Stewart en Golubitsky (1992).

meer uit een publicatie uit 1952 met de naam *The Chemical Basis of Morphogenesis*, waarin hij ingaat op de relatie tussen symmetrieën en morfogenese.

Een voorbeeld dat Turing naar voren brengt als het gaat om het breken van symmetrieën is die van de hydra. Turing beschrijft, in navolging van de Zwitserse zoöloog Abraham Trembley (1700-1784), het volgende experiment. Wanneer de tentakelkrans van de hydra wordt afgesneden hergroeperen de cellen van het overige deel zich. Dit gebeurt zodanig dat er een nieuwe hydra ontstaat. (Zie ook Mainzer 1996, 537). Gedurende dit proces zal het oorspronkelijke organisme eerst de vorm van een buis aannemen die aan één kant gesloten is. De dwarsdoorsnede van de buis levert in deze fase een cirkelsymmetrie op. Deze symmetrie verdwijnt later doordat er nieuwe tentakels aan de buis worden ontwikkeld. (Zie ook Stewart & Golubitsky 1992, 171.) De eerste fase van het regeneratieproces wordt gekenmerkt door 'donkere vlekken' die zich op de buis manifesteren. De tweede fase in het proces laat zien dat deze donkere vlekken veranderen in uitstulpsels/knoppen. In de derde fase groeien de uitstulpsels/knoppen uit tot volledige tentakels. (De experimenten van Trembley gingen overigens nog veel verder. Hij entte onder andere halve zoetwaterpoliepen op elkaar en liet ze aan elkaar groeien (Grzimek 1975, 209).)

Stewart & Golubitsky schrijven over het experimenteren met het verwijderen van de tentakelkrans in relatie tot symmetriebrekingen dat: "Thus the development of the *Hydra*, in this laboratory experiment, exhibits symmetry-breaking from circular symmetry $O(2)$ to that of a regular polygon – a dihedral group. The six-tentacled hydra illustrated has symmetry group D_6 ." (Stewart & Golubitsky 1992, 171). Deze woorden bevatten veel informatie over de relatie tussen het laboratoriumexperiment en symmetriebrekingen, maar vragen wel om een toelichting. Ten eerste zal duidelijk moeten worden wat er onder het breken van een cirkelsymmetrie moet worden begrepen. Ten tweede zal helder moeten worden wat het begrip 'symmetriegroep D_6 ' inhoudt. Op deze twee punten wordt nu ingegaan.

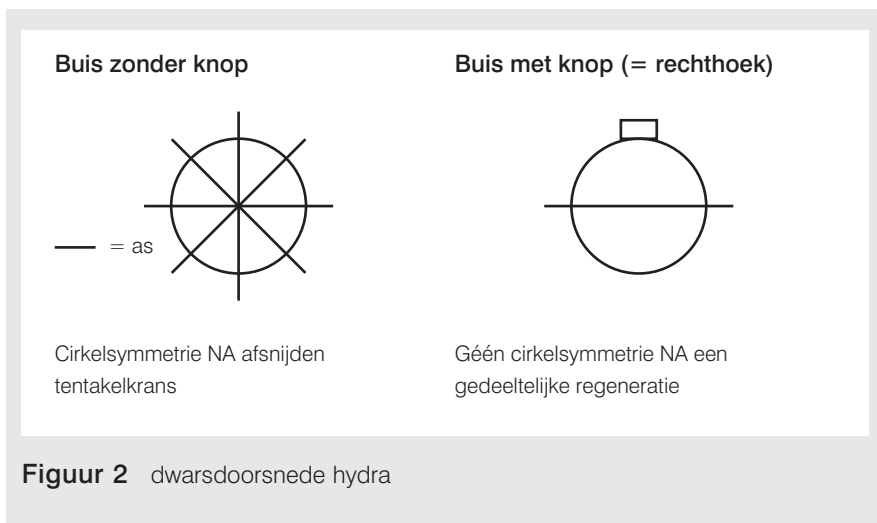
In de inleiding zijn algemene aannames gedaan aangaande symmetrieën en transformaties. Alle symmetrieën van een object vormen tezamen een groep, de *symmetriegroep* van dat object. Een symmetriegroep is een gesloten systeem van (inverse) transformaties, hetgeen inhoudt dat een combinatie van transformaties resulteert in het zoveelste lid van de groep (Stewart en Golubitsky 1992, 39).⁶ (Een *verzameling* is daarentegen een 'samenraapsel' van objecten zonder een specifieke structuur.) Zo is bijvoorbeeld bij een prachtig rond pingpongballetje ook een symmetriegroep aan te wijzen. De symmetriegroep bestaat uit alle transformaties van het balletje waarbij het centrum van het balletje op zijn plaats blijft. De vraag die

⁶ Het begrip 'groep' is in de wiskunde geïntroduceerd door Évariste Galois (Stewart 2007, 112).

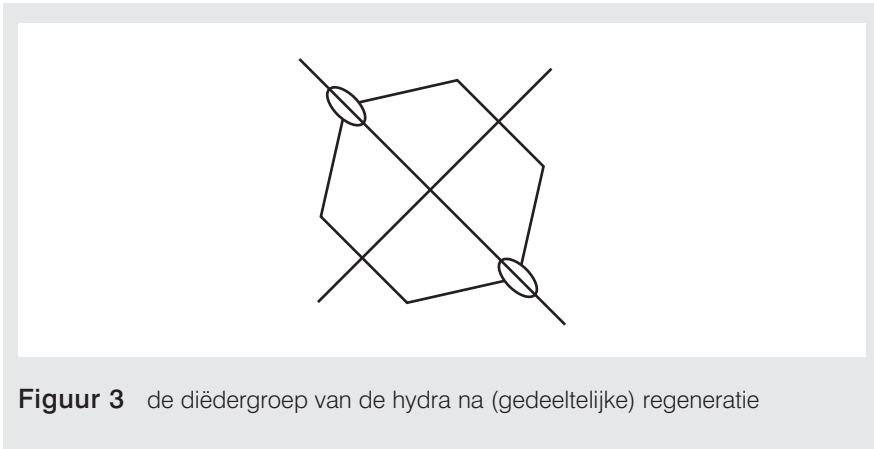
zich aandient is welke transformaties er allemaal mogelijk zijn. Wanneer men een as denkbeeldig door het midden van het balletje laat lopen ontstaat er een verzameling van spiegelsymmetrieën. Het aantal transformaties neemt toe als de as ook nog eens willekeurig geroteerd wordt. Bij de rotatie moet de as wel door het centrum van het balletje blijven lopen. Al dergelijke transformaties tezamen levert een groep van het pingpongballetje in drie dimensies op die aangeduid wordt met $O(3)$. Alle transformaties in de groep hebben een zekere relatie tot elkaar die op mathematische wijze beschreven kan worden.

Stewart & Golubitsky zetten uiteen dat als het pingpongballetje wordt ingedeukt één as als het ware gaat domineren als het om aanwezige symmetrieën gaat in de nieuwe situatie. De gedeukte bal is slechts nog invariant onder rotaties van een willekeurig aantal graden rond die as en spiegelingen in vlakken die die as bevatten. Wat overblijft na het deuken van het balletje is dus een groep in twee dimensies die aangeduid wordt met $O(2)$. Wanneer de relatie tussen de groepen $O(3)$ en $O(2)$ bestudeerd wordt, kan geconstateerd worden dat de bolvormige symmetrie $O(3)$ gebroken wordt om de cirkelsymmetrie $O(2)$ aan het licht te brengen. De groep $O(2)$ is een deelverzameling van groep $O(3)$. Immers, alle cirkelsymmetrieën komen ook voor in de verzameling bolvormige symmetrieën. Formeel genoteerd komt dat neer op: $O(2) \subset O(3)$. De groep $O(2)$ vormt ten opzichte van de groep $O(3)$ een zogenoemde *ondergroep* (Stewart & Golubitsky 1992, 51-52).

Op overeenkomstige wijze kan de cirkelsymmetrie $O(2)$ van de poliep hydra gebroken worden. Ook bij deze symmetriebreking treedt er een verandering in de oorspronkelijke symmetriegroep op:



De symmetriebreking bij de hydra levert een regelmatige veelhoek met een diëdergroep op. De *ondergroep* die het resultaat van de symmetriebreking vormt, is ook hier een deel van de grotere oorspronkelijke symmetriegroep (Stewart & Golubitsky 1992, 52). Een diëdergroep is voor te stellen als een symmetriegroep van een regelmatige veelhoek met n zijden. Een diëdergroep bevat $2n$ symmetrie-transformaties voor de helft bestaande uit rotaties en voor de andere helft uit spiegelingen. Dit wordt genoteerd als D_n (Stewart & Golubitsky 1992, 48). De 6-armige hydra wordt gekenmerkt door een symmetriegroep D_6 .



Figuur 3 de diëdergroep van de hydra na (gedeeltelijke) regeneratie

Toelichting: Een veelhoek met 6 zijden (D_6) en zes mogelijke spiegellijnen. In bovenstaande figuur zijn er slechts twee weergegeven. Op de hoekpunten bevinden zich de 6 knoppen/uitstulpsels. Hier schematisch weergegeven met een ovaal.

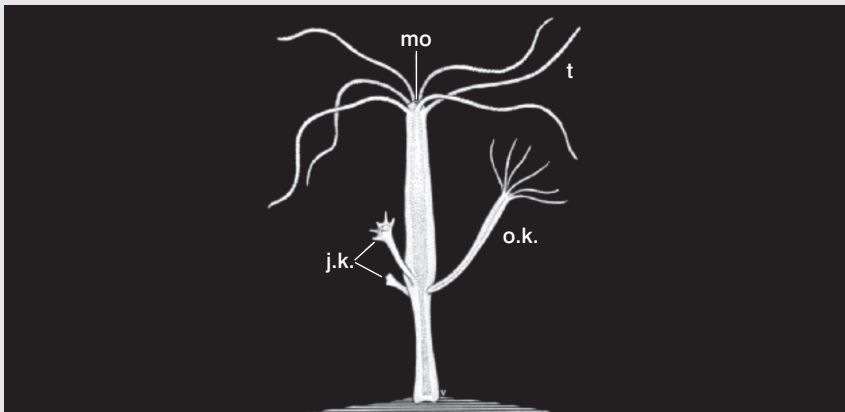
Tot zover de bespreking van het citaat van Stewart & Golubitsky (1992, 171) over het verwijderen van de tentakelkrans bij de poliep hydra in relatie tot symmetriebrekingen.

Het afsnijden en de regeneratie van de tentakelkrans bij de poliep hydra toont aan hoe een symmetrie gebroken wordt zonder dat er sprake is van de emergentie van een nieuw organisatieniveau of eigenschap. Immers, het afsnijden en de regeneratie van de tentakelkrans doen per saldo geen veranderingen ontstaan in de aard van de eigenschappen of het aantal aanwezige organisatieniveaus. Symmetriebrekingen zonder emergentieprocessen zijn dus mogelijk. In de komende twee secties wordt ingegaan op het breken van een symmetrie waarbij een nieuwe generatie poliepen en een nieuw organisatieniveau emergeert.

Sectie B) Tot dusver is het vermogen tot het regenereren van tentakels bij de hydra bekeken. Aangetoond is dat regeneratieprocessen gepaard gaan met symmetriebrekingen.⁷ Om het vermogen van de hydra tot regeneratie op kunstmatige wijze aan te tonen, moet de mens ingrijpen in het leven van de hydra door het afsnijden van de tentakelkrans. Maar ook zonder het toedoen van de mens is de poliep hydra interessant als het gaat om symmetriebrekingen.

De poliep hydra heeft zowel een geslachtelijke als een ongeslachtelijke vorm van voortplanting (Burnett 1973, 92-97; Grzimek 1975, 210). Bij de twee vormen van voortplanting spelen symmetriebrekingen een cruciale rol. Ze kunnen dus beide als voorbeeld dienen van de aanwezigheid van symmetriebrekingen bij levende entiteiten uit wereld 1. Begonnen wordt met de voltrekking van symmetriebrekingen bij de ongeslachtelijke vorm van voortplanting. (Zie figuur 4.)

Wanneer een poliep (met tentakelkrans) in de lengte (fictief) wordt doorgesneden, is er een symmetrie te zien. Het plaatsen van een as, die in het midden van de buis van de voet tot aan de mondopening van de hydra loopt, brengt een spiegelsymmetrie met zich mee. Aan beide kanten van de as is een halve buis en een lengtedoorsnede van een tentakel zichtbaar. (Afhankelijk van het perspectief dat gekozen wordt, kunnen er ook verscheidene tentakels aan iedere zijde van de buis te zien zijn.) Deze symmetrie wordt gebroken wanneer zich aan de buis nieuwe hydra's gaan vormen. (Zie figuur 4 en 5.)



Figuur 4 nieuwe hydra's

mo. = mondopening, t. = tentakel, j.k. = jonge knop, o.k. = oude knop, v. = voet.

⁷ Zie bijvoorbeeld ook C. Fütterer, C. Colombo, F. Jülicher, A. Ott (2003).

Bij de vorming van nieuwe hydra's zijn, zoals al eerder is geconstateerd, drie fasen te onderscheiden. De eerste fase in het proces wordt gekenmerkt door 'donkere vlekken' die zich op de buis manifesteren. De tweede fase in het proces laat zien dat deze donkere vlekken veranderen in uitstulpsels/knoppen. In de derde fase groeien de uitstulpsels/knoppen uit tot volledige hydra's. Dit proces verloopt als volgt. Boven in die knop ontstaat een mondopening met tentakels er omheen. Wanneer de knop met de mondopening en tentakels voldoende ver ontwikkeld is, 'weekt' de knop zich van de stampoliep los en leeft zelfstandig verder. De voortplanting is geschied. Met de symmetriebreking van de buis van de stampoliep gaat de emergentie van een nieuwe generatie organismen gepaard. Daarbij is een hydra uit de nieuwe generatie als organisme emergent ten opzichte van het onderliggende celniveau.⁸ Immers, de eigenschappen en gedragingen van de hydra zijn niet reduceerbaar tot de eigenschappen en gedragingen van de cellen waaruit de hydra is opgebouwd.

Met de *eerste keer* dat de hydra zich tijdens de evolutie op ongeslachtelijke wijze voortplantte liet de hydra een 'nieuwe' emergente eigenschap zien. Lagere diersoorten die eerder tijdens de evolutie zijn ontstaan, kennen soms ook al een ongeslachtelijke vorm van voortplanting. Echter, de hydra kent een hogere graad van differentiatie dan de lagere diersoorten als het gaat om de typen cellen waaruit hij is opgebouwd.

Opgemerkt dient te worden dat er in dit verband een onderscheid aangebracht kan worden tussen ontogenetische emergentie en fylogenetische emergentie. Alleen tijdens de *eerste keer* dat de hydra zich op ongeslachtelijke wijze voortplantte vielen deze twee vormen van emergentie samen en in de toekomst zullen ze dat niet meer doen.

De conclusie die getrokken kan worden, is dat de ongeslachtelijke vorm van voortplanting bij de poliep hydra vergezeld gaat met het breken van een symmetrie en met de emergentie van een nieuwe eigenschap.

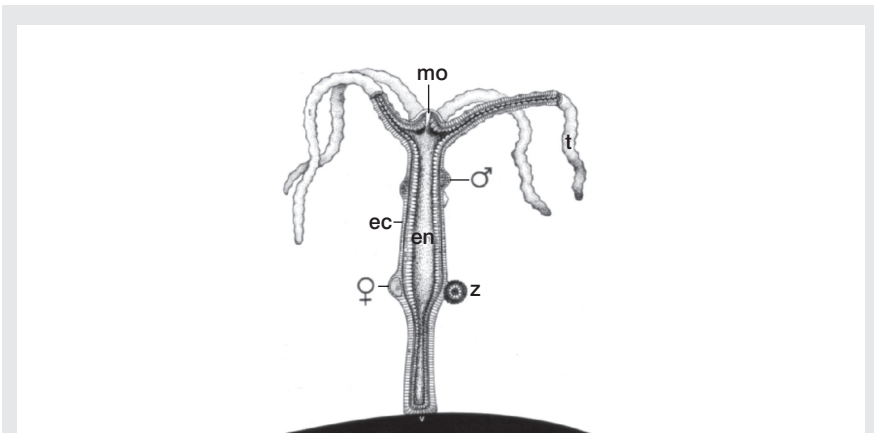
Sectie C) Symmetriebrekingen en het proces van emergentie doen zich ook voor bij de geslachtelijke voortplanting van de hydra. Ten opzichte van ongeslachtelijke voortplanting houdt geslachtelijke voortplanting op zich al een kwalitatief verschil in. Geslachtelijke voortplanting komt meestal voor als de levensomstandigheden ongunstig zijn zoals bijvoorbeeld bij voedselgebrek (Grzimek 1975, 210). Alvorens tot de uiteenzetting van de geslachtelijke voortplanting zelf over te gaan, volgt eerst nog een klein stukje anatomie van de hydra; dit om zicht te krijgen op de oorsprong en de productie van de gameten die bij deze vorm van voortplanten betrokken zijn.

De lichaamswand van een poliep bestaat uit een ecto- en een entodermislaag. Het ectoderm is de beschermende laag (de huid) en het entoderm is de bekleeding van

⁸ Zie voor de hiërarchische opbouw van entiteiten uit de biologie Looijen 1998, 28.

de *darmlichaamsholte*. (Deze darmlichaamsholte is nog geen echt darmkanaal omdat een anale opening niet aanwezig is. In zekere zin dient de mondopening als anus. Onverteerbare resten van het voedsel verlaten het lichaam via de "mondopening".) In het ecto- en entoderm bevinden zich gespecialiseerde cellen. De gespecialiseerde cellen liggen tussen de niet- gespecialiseerde cellen zodat er geen sprake is van de vorming van weefsels en organen. In het ectoderm zijn opperhuidcellen, zenuwcellen en netelcellen aanwezig. (De niet-gespecialiseerde cellen dienen o.a. om de netelcellen te vervangen; ze dienen als een soort reservecellen.) In het entoderm zijn opperhuidcellen, darmcellen en kliercellen opgenomen.

De poliep is een hermafrodit en draagt zowel spermatozoïden als eicellen bij zich die in het najaar worden gevormd (Burnett 1973, 92-97). In het bovenste deel van het lichaam ontstaan verdikkingen in de epidermis (opperhuid) waarin uit ongespecialiseerde, zogenoemde reservecellen, zaadcellen ontstaan. In het onderste deel van het lichaam ligt in andere verdikkingen telkens een eicel die eveneens uit reservecellen ontstaat. De geslachtscellen worden afgescheiden en kunnen in het water samensmelten. Een bevruchte eicel wordt een zygote genoemd. De zygote kan op haar beurt weer uitgroeien tot een volwaardige poliep (Grzimek 1975, 210). In figuur 5 is de locatie van de ei- en zaadcellen goed te zien.



Figuur 5 lengtedoorsnede hydra

t. = tentakel, mo. = mondopening, ec. = ectoderm, en. = entoderm, z. = zygote (een bevruchte cel), mannelijke en vrouwelijke gameten (voortplantingscellen).

De verdikkingen die gevormd worden en ten grondslag liggen aan het ontstaan van de ei- en zaadcellen breken de symmetrie van de buis van de stampoliep. Wanneer

figuur 5 in de lengte wordt 'doorgesneden' is er geen spiegelsymmetrie te zien. Dit komt doordat er zich onder andere aan de linkerkant van de spiegelglas een eicel bevindt die aan de rechterkant niet terug te vinden is. Ook het ontstaan van zaadcellen op verschillende locaties doet de spiegelsymmetrie verdwijnen.

Hoewel het proces van symmetriebrekingen bij de geslachtelijke voortplanting van de hydra op exacte wijze te beschrijven is, brengt de symmetriebreking zelf in ontologisch opzicht een kwalitatieve verandering met zich mee. Deze kwalitatieve verandering komt tot uitdrukking door de emergentie van een nieuw organisatieniveau tijdens de evolutie.⁹ Evolutionair gezien betekent de *eerste verschijning* van de hydra, als gevolg van de geslachtelijke voortplanting van de voorouder van de hydra, dat er door een symmetriebreking een nieuw organisatieniveau emergeerde.¹⁰

De overgang van de voorouders van de poliep hydra naar de hydra zelf als diersoort mag als een geschikt voorbeeld worden beschouwd van een symmetriebreking in wereld 1.

De inzet van deze paragraaf is slechts het tonen van symmetriebrekingen bij levende organismen en dat deze gepaard kunnen gaan met emergente fenomenen. Een onderzoek naar processen van emergentie bij de poliep hydra roept vele filosofische vragen op die ook van toepassing zijn op andere biologische organismen. Bepaalde concepten kunnen bij casestudies van emergentie gemakkelijk voor onduidelijkheden zorgen. Om twee voorbeelden te geven:

1) Er kan verwarring ontstaan tussen de begrippen 'organisatieniveau' en 'differentiatieniveau'. Het lijkt zeker zo te zijn dat entiteiten op het organisatieniveau van organismen kunnen verschillen in differentiatieniveau. Hierbij valt te denken aan organismen die niet veel meer zijn dan een klomp identieke cellen, organismen met gespecialiseerde cellen, organismen waarvan de cellen georganiseerd zijn in weefsels en organismen waarvan de weefsels georganiseerd zijn in organen. De vraag is in hoeverre een hoger of lager differentiatieniveau opgevat kan worden als

⁹ Een naam die niet onvermeld mag blijven wanneer het gaat om de studie naar de relatie tussen symmetrieën en levende organismen is die van D'Arcy Thompson. Hij schreef in 1917 het beroemde boek *On Growth and Form*. Ondanks dat mensen als Stewart en Golubitsky menen dat het werk berust op oude magie en het geheel niet al te serieus dient te worden genomen (Stewart & Golubitsky 1992, 5), blijft het een wetenschappelijk werk met grote historische waarde.

¹⁰ Het emergeren van de nieuwe poliep kan op gedetailleerder niveau worden beschreven. Zie voor verdere studie bijvoorbeeld *The Biology of Hydra* (1973) van A.L. Burnett. Het aardige van het 'voorbeeld *Hydra*' is, gezien het thema van deze studie, dat bij dit diertje (of eiwit) aanwezig zijn die essentieel zijn voor complexe functies van hoger ontwikkelde dieren.

een zelfstandig organisatieniveau. Wat zijn hiervoor de criteria?

2) Er kan verwarring ontstaan tussen de begrippen 'organisatieniveau' en 'aggregatieniveau'. Een organisme is immers op te vatten als een verzameling orgaansystemen die ieder opgebouwd zijn uit organen, die op hun beurt weer opgebouwd zijn uit weefsels en die op hun beurt weer opgebouwd zijn uit cellen. In de biologische en filosofische literatuur worden organen en weefsels vaak opgevat als zelfstandige organisatieniveaus. De vraag is in hoeverre deze opvatting gerechtvaardigd is. Immers, een evolutionaire benadering van meercellige organismen laat zien dat ze ontstaan zijn uit cellen die aan elkaar zijn blijven kleven en niet uit interacties tussen weefsels en organen.

Het lijkt erop dat het hanteren van begrippen als 'organisatieniveau', 'differentiatieniveau' en 'aggregatieniveau' gepaard gaat met ontologische en epistemologische verwarringen.

Daarnaast kan ook de vraag gesteld worden wanneer men kan spreken over *de eerste hydra* tijdens de evolutie. Een onderscheid tussen de voorouders van de hydra en de hydra zelf is een ingewikkelde kwestie die een aparte beschouwing vergt.

In deze paragraaf is afgezien van het beantwoorden van dergelijke belangrijke filosofische vragen.¹¹

De (voorlopige) conclusie die getrokken kan worden naar aanleiding van het laboratoriumexperiment en de (on)geslachtelijke voortplanting van de hydra, zoals beschreven onder de secties A, B en C, is dat het breken van symmetrieën gepaard kan gaan met regeneratie, met de emergentie van een nieuwe eigenschap of met de emergentie van een nieuw organisatieniveau.

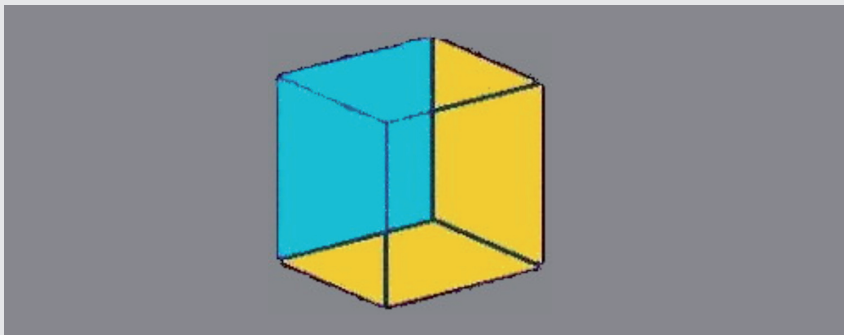
2.2 Een voorbeeld van een symmetriebreking in wereld 2: *Reversibele figuren*¹²

In de functieleer als onderdeel van de psychologie worden illusies aangegrepen om onderzoek te doen naar het (menselijk) kenvermogen. Hoewel illusies al bij de oude Grieken bekend waren, zijn ze pas in de 19^e eeuw een serieus object van onderzoek geworden. De eerste wetenschappelijke beschrijving is terug te vinden in een brief van de Zwitserse naturalist L.A. Necker (Necker 1832) aan Sir David Brewster. In deze brief beschrijft Necker hoe een driedimensionaal parallellepipedum reversibel is

¹¹ Met dank aan dr. A.G. Wouters die me op deze problematiek attent maakte.

¹² Bronnen: Gibson (1979), Gregory (1974), Mainzer (1996, 2005).

qua dieptewerking. Diepte is bij deze figuur een ambigu begrip. Een vlak dat op het ene moment fungeert als voorzijde van het parallellepipedum kan bij een volgende beschouwing als achterzijde dienen en omgekeerd. De 'diepte-ambigüiteit' van het parallellepipedum is ook waar te nemen bij een 'gewone' kubus. Hoewel de oorspronkelijke figuur in de brief van Necker een parallellepipedum betrof, is de kubus (figuur 6) het meest beroemd geworden. De kubus is de literatuur ingegaan als de Necker-kubus (Gregory 1974, 359).¹³



Figuur 6 Necker-kubus

De Necker-kubus maakt deel uit van een verzameling illusies, waarvan de leden allemaal gemeen hebben dat voorgrond en achtergrond een reversibele relatie met elkaar onderhouden. Deze groep wordt door Gregory aangeduid met de naam 'perceptual illusions'. Hiermee wil hij illusies als de Necker-kubus onderscheiden van zogenoemde 'optical' en 'sensory illusions'. Beide soorten illusies vormen ook weer een groep:

1) er is sprake van een 'optical illusion' wanneer het weerkaatste licht op een object wordt 'gemanipuleerd' door middel van reflectie of door middel van breking. Spiegelbeelden zijn een alledaags voorbeeld van reflectieve manipulaties. Het in de literatuur veelbesproken voorbeeld van de 'gebroken' stok in het water laat zien hoe de breking van licht de waarnemer kan misleiden.

¹³ In het onderzoek naar het (menselijk) kenapparaat hebben visuele verschijnselen en illusies altijd de boventoon gevoerd ten opzichte van het onderzoek op het gebied van andere zintuigen. Dit neemt niet weg dat ook op deze terreinen voorbeelden van illusies gegeven kunnen worden. De wisseling bijvoorbeeld van 'voorgond' en 'achtergrond' komt ook sterk tot uitdrukking in polyfone muziek. Ook al kan het verscheidene malen beluisteren van een polyfoon muziekstuk tot gevolg hebben dat er verschillende melodieën ('voorgond') en dus verschillende begeleidingen ('achtergrond') worden waargenomen, de waarnemingen als zodanig zijn even betrouwbaar.

2) 'sensory illusions' worden gekenmerkt door het feit dat zintuigen 'misleidende' informatie aan de hersenen doorgeven als ze bijvoorbeeld door aanhoudende prikkeling oververmoeid raken. Een bekend voorbeeld hiervan is het zogenoemde 'waterfall effect' dat waargenomen is door Aristoteles. Het 'waterfall effect' kan gedemonstreerd worden door langdurig te kijken naar een draaiende spiraal. Afhankelijk van de draairichting zet de spiraal uit of krimpt deze in. Wanneer de draaiing van de spiraal na enige tijd wordt stilgezet, ziet de waarnemer de spiraal in tegengestelde richting bewegen (Gregory 1974, 358-359).

De meest bekende voorbeelden van de groep 'perceptual illusions' zijn, afgezien van de Necker-kubus, de eend/konijn afbeelding (figuur 7), Rubins 'vase-face figure' (figuur 8) en de oude/jonge vrouw afbeelding (figuur 9).



Hoewel de afbeeldingen als zodanig verschillen, is de werking van de 'perceptual illusion' bij alle voorbeelden hetzelfde. Voor alle geldt dat de figuren *onderbepaald zijn door de stimuli*. Bij Rubins 'vase-face figure' ziet de waarnemer of de vaas op de voorgrond of de twee gezichten. Wanneer het witte gebied op de voorgrond wordt geplaatst, is er een vaas zichtbaar tegen een zwart decor. Wanneer de twee gezichten worden waargenomen fungeren de zwarte gebieden als voorgrond en is het decor wit geworden. Beide afbeeldingen zijn niet tegelijkertijd waar te nemen. Dit geldt ook voor de afbeelding met de jonge en de oude vrouw. Of de jonge vrouw is in beeld en de oude vrouw niet of omgekeerd. Hetzelfde geldt uiteraard voor de afbeelding met de eend en het konijn welke ook besproken is door Wittgenstein in zijn *Philosophische Untersuchungen* (PU II, xi, 520).¹⁴

¹⁴ Wittgenstein ontleende de afbeelding met de eend en het konijn aan Joseph Jastrows *Facts and Fable in Psychology* (1900). Wittgenstein heeft zich bij de behandeling van de werking van de zintuigen sterk laten inspireren door Köhlers *Gestalt Psychology* uit 1929 (Monk 1990, 508-509).

Op de werking van de illusies wordt nu niet uitgebreid ingegaan.¹⁵ Een evaluatie van de vele waarnemingstheorieën waarin ze worden besproken wordt ook niet uitgevoerd. Er is een zeer grote hoeveelheid literatuur voorhanden waarin illusies worden aangehaald en qua werking worden geanalyseerd. Deze analyses en verklaringen vinden vaak plaats met behulp van entiteiten, zoals neurale constellaties, die in wereld 1 thuishoren. In die gevallen wordt al dan niet terecht, in het jargon van Veening gesteld, een hoge connectie-coëfficiënt tussen wereld 1 en wereld 2 verondersteld. De ervaring zelf van illusies en de entiteiten uit wereld 1 die in verband worden gebracht met deze illusies onderhouden *dependentie-relaties* (= afhankelijkheidsrelaties) met elkaar. De inzet van deze paragraaf is niet in te gaan op deze dependentie-relaties, maar 'slechts' een symmetriebreking in wereld 2 te illustreren aan de hand van (bijna overbekende) illusies. De vraag die beoogd te worden beantwoord, is wat de exacte relatie is tussen de getoonde illusies en symmetriebrekingen in wereld 2.¹⁶

De verborgen symmetrie bij 'perceptual illusions' ligt gelegen in het feit dat de twee interpretaties die bij deze illusies mogelijk zijn beide even 'betrouwbaar' of 'correct' zijn. Deze claim kan als volgt worden onderbouwd. Breng de betreffende afbeeldingen op een grote afstand van een waarnemer. De waarnemer ziet nu alleen een aantal gekleurde vlakken op papier zonder daar een afbeelding in te herkennen. Verklein vervolgens de afstand tussen de afbeeldingen en de waarnemer. Op een gegeven moment is de waarnemer wèl in staat de gekleurde vlakken op papier te interpreteren. De vlakken zijn niet langer onbeduidend. Op het moment dat de waarnemer één van de twee mogelijke interpretaties 'kiest', vindt er een symmetriebreking plaats. Deze 'keuze' leidt tot een asymmetrische situatie. Er wordt een waarneming van een zeker object gedaan met een bepaalde achtergrond. Hoe vaak de proef met de afstandsverkleining tussen de waarnemer en de illusies ook wordt herhaald en hoeveel waarnemers er ook getest worden, blijken zal dat de kans dat één van de twee mogelijke interpretaties aan bod komt ongeveer 50% bedraagt.¹⁷ Vóór de interpretatie is er sprake van een balans en kan niet aangegeven worden naar welke kant de balans zal doorslaan onder invloed van de waarnemer.

¹⁵ Voor geïnteresseerden zij verwezen naar bijvoorbeeld 1) *How the mind works* (1997), hoofdstuk 4 van S. Pinker, 2) *The Computer and the Mind. An Introduction to Cognitive Science* (1988), deel 2 van P. Johnson-Laird en 3) *Consciousness explained* (1991), hoofdstuk 10 en 11 van D.C. Dennett. Zie eventueel verder ook Derksen 1980, 237-245 en Rock 1983, 21-42.

¹⁶ De illusies die in deze paragraaf worden gebruikt komen misschien weinig origineel over. Toch blijkt bijvoorbeeld Rubins 'vase-face figure' nog bijzonder actueel en vruchtbaar gelet bijvoorbeeld op het artikel 'From Contour to Object-Face Rivalry: Multiple Neural Mechanisms Resolve Perceptual Ambiguity' van T.J. Andrews, F. Sengpiel en C. Blakemore in het boek *Binocular Rivalry* uit 2005.

Wanneer bij Rubins 'vase-face figure' het witte gebied als voorgrond wordt gekozen en er dus een vaas wordt waargenomen, emergeert er een nieuw fenomeen, nl. diepte.¹⁸ De symmetriebreking die nodig is om bij Rubins 'vase-face figure' of de vaas of de gezichten waar te nemen gaat dus gepaard met de *ervaring* van de derde dimensie. Deze ervaring is niet te reduceren tot de tweedimensionale inktvlekken op papier. De som van de samenstellende delen op microniveau, nl. de som van de inktvlekken op papier, is niet gelijk aan de *ervaring* van diepte.

Wanneer een waarnemer de voor- en achtergrond bij bijvoorbeeld de Necker-kubus elkaar laat afwisselen, zal deze de ervaring ondergaan dat de hoek van waaruit de kubus wordt waargenomen ook steeds wisselt. De ruimtelijke positie van waaruit de waarnemer de kubus ziet, wisselt met de interpretatie van de lijnen op papier. Het ene moment lijkt de waarnemer zich linksboven de kubus te bevinden, terwijl het andere moment het lijkt alsof de waarnemer zich rechtsonder de kubus bevindt. (Bij de andere gegeven voorbeelden van illusies is de ruimtelijke perspectiefwisseling ook aanwezig maar veel subtieler.) Deze ruimtelijke perspectiefwisseling vindt alleen plaats vanuit het oogpunt van de waarnemer en dus vanuit het eerstpersoonsperspectief. Vanuit het derdepersoonsperspectief gezien vormen de twee interpretaties van de lijnen op papier als kubussen elkaars spiegelbeeld (Rucker 1984, paragraaf 1.4). Met andere woorden, wanneer de symmetrie tussen de twee interpretaties vanuit het derdepersoonsperspectief gezien gebroken wordt, levert dit een specifiek ruimtelijk en eerstpersoonsperspectief op. Het is dit ruimtelijk en eerstpersoonsperspectief dat de reversibele beweging van de illusie mogelijk maakt.

Omdat de waarnemer weet dat hij met een illusie van doen heeft, anders zou het begrip 'illusie' niet gehanteerd worden, moet er een referentiekader zijn dat buiten de illusie ligt. Dit kader moet de waarnemer de mogelijkheid verschaffen te ontdekken dat de al dan niet vermeende illusoire waarneming daadwerkelijk illusoir is. Naar verwachting zullen de symmetriebrekingen die betrokken zijn bij de reversibele figuren ook anders zijn dan de symmetriebrekingen die gepaard gaan bij de totstandkoming van ervaringen die deel uitmaken van het referentiekader. Om meer zicht te krijgen op de aard van de symmetriebrekingen bij reversibele figuren zal nu op dit onderscheid ingegaan worden.

¹⁷ Het verschil in moeilijkheidsgraad om een illusie te ontmaskeren betreffende de aangehaalde voorbeelden maakt het mogelijk dat er onderling een (klein) verschil ontstaat in het percentage dat uit een eventueel experiment voortkomt. Echter, aan deze problematiek zal verder voorbijgegaan worden.

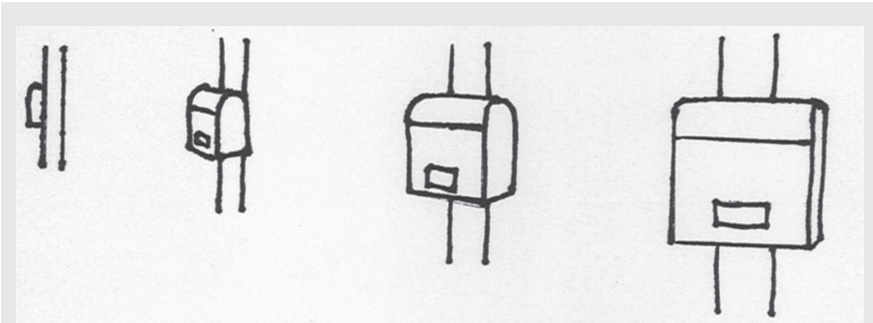
¹⁸ Om überhaupt te kunnen spreken over een voor- en een achtergrond in de afbeelding wordt de aanwezigheid van diepte in de afbeelding verondersteld.

In het geval van de Necker-kubus moeten op zijn minst de volgende drie factoren deel uitmaken van het referentiekader:

- 1) De ervaring van een 'echte' (driedimensionale) kubus. Deze ervaring ontstaat door het vastgrijpen van de kubus, het erdoorheen lopen etc. Door op allerlei manieren contact te zoeken met de kubus ontwikkelt er zich een soort 'embodied knowledge'.
- 2) Het geheugen met opgeslagen herinneringen. Op het moment dat de illusie als illusie ontmaskerd wordt, moet de waarnemer zijn ervaringen van de 'echte' ruimte 'bij de hand hebben'. Er moet namelijk een vergelijking kunnen worden gemaakt tussen de ervaring van datgene wat door de illusie wordt aangeboden en datgene wat de waarnemer buiten de illusie om aan ervaringen heeft.
- 3) De fysieke aanwezigheid van de waarnemer. Bij de ervaring van de 'echte' ruimte speelt het eigen lichaam een cruciale rol. Immers, het eigen lichaam wordt door middel van de tastzin, proprioceptie en visuele waarneming ook als ruimtelijk ervaren. De fysieke ruimte is een verzameling van potentiële locaties waar het lichaam van de waarnemer zich kan ophouden. De hoek waaronder een waarnemer zijn eigen lichaam ervaart is altijd dezelfde. De bepaling van de positionering van het eigen lichaam ten opzichte van andere ruimtelijke objecten is mogelijk door een variante en een invariante component in de waarneming.

De symmetriebrekingen die bij de waarneming en/of ervaring van een driedimensionale kubus betrokken zijn, treden op wanneer de kubus en de waarnemer zich rond elkaar heen *bewegen*. Bevindt de waarnemer zich op het ene moment linksboven de kubus, na verplaatsing van zichzelf of van de kubus kan hij zich later ten opzichte van de kubus rechtsonder bevinden. De 'voorkant' van de kubus wordt dan de 'achterkant' en andersom. Echter, de 'voor-' en 'achterkant' van de kubus zijn niet tegelijk zichtbaar. 'Voorgrond' en 'achtergrond' zijn andere entiteiten dan 'voorkant' en 'achterkant'. Hierin verschilt de werking van symmetriebrekingen bij de ervaring van 'echte' ruimtelijke objecten met die van de symmetriebrekingen die optreden bij illusies. Bij beide soorten symmetriebrekingen *emergeert de ervaring van diepte* maar komt deze anders tot stand. De waarnemer weet bij de ervaring van een (ruimtelijke) kubus af van het bestaan van de achterzijde van de kubus door de inzet van zijn geheugen.

Bij waarnemingen van ruimtelijke objecten in het dagelijks leven zijn verschillende symmetriebrekingen op verschillende niveaus betrokken. Dit kan geïllustreerd worden aan de hand van 'de postbus' uit *The Ecological Approach to Visual Perception* (1979, 139) van J.J. Gibson.¹⁹ De figuur van Gibson laat 4 momenten zien vanuit het perspectief van een waarnemer die zich beweegt langs een postbus aan een paal:



Figuur 10 postbus aan een paal

Wanneer de postbus recht van voren wordt waargenomen (zie het meest rechtse plaatje van figuur 10) is er een spiegelsymmetrie aan te wijzen. De as van deze spiegelsymmetrie loopt recht door het midden van de paal waaraan de postbus is bevestigd. Bij elke *beweging* die gemaakt wordt door de waarnemer zal deze symmetrie worden gebroken. Immers, er zal door een verplaatsing van de waarnemer iets zichtbaar worden van de zijkant van de postbus. Een (ruimtelijk) object tekent zich als gevolg van de symmetriebreking af. De ervaring van ruimte en diepte wordt opgedaan.

De symmetriebreking die zich voordoet, voorkomt niet dat er door de verplaatsing van de waarnemer weer nieuwe symmetrieën zichtbaar worden. Beschouw bijvoorbeeld het meest linkse plaatje in de figuur van Gibson. De postbus wordt nu volledig vanaf de zijkant waargenomen. Opnieuw is hier een spiegelsymmetrie aan te wijzen. Echter, deze symmetrie bevindt zich niet meer op het niveau van de postbus *met* de paal waaraan deze is bevestigd. De as van de spiegelsymmetrie loopt nu door het midden van de zijkant van de postbus. Om de symmetrie als symmetrie te kunnen erkennen moet de paal genegeerd worden. (Overigens, ook aan de horizontale symmetrieas, die toevallig in deze afbeelding aan te brengen is, dient voorbij gegaan te worden.) De meetkundige schaal waarop de symmetrie zich nu aftekent, is van een andere orde dan de spiegelsymmetrie van de postbus waargenomen vanaf de voorzijde.

Voor de spiegelsymmetrie, die aan te wijzen is op de zijkant van de postbus, geldt eveneens dat elke beweging die de waarnemer nu maakt de breking van deze symmetrie tot gevolg zal hebben. Wederom met als resultaat dat er zich een *ruimtelijk* object aftekent en de ervaring van ruimte en diepte wordt opgedaan.

¹⁹ From *The Perception of the Visual World* by James Jerome Gibson and used with the agreement of the reprint publisher, Greenwood Press, Inc.' (Gibson 1979, 139).

Bij waarnemingen in het dagelijks leven worden symmetrieën aaneengesloten opgebouwd en weer gebroken. Deze symmetrieën en symmetriebrekingen spelen zich, zoals bleek, in meetkundige zin op allerlei niveaus af. Ze zijn door middel van x-y-z coördinaten in een cartesiaans assenstelsel exact te beschrijven. Zowel de ruimte zelf als de beschrijving van deze ruimte zijn een publiekelijk bezit. (Het spatio-temporele aspect behoort tot wereld 1. De kwantitatieve beschrijving ervan tot wereld 3.) De reden hiervan is dat onze alledaagse ervaring van de werkelijkheid door de tijd heen niet is veranderd en ondanks evolutionaire ontwikkelingen dezelfde is gebleven. Het feit dat alle mensen die nu leven dezelfde evolutionaire geschiedenis met elkaar delen leidt ertoe dat iedereen ook dezelfde basiswaarnemingen en basiservaringen heeft.

Mensen kunnen het er onderling over eens zijn dat ze bij het zien van bijvoorbeeld de Necker-kubus met een illusie te maken hebben. De dialoog over de illusie behoort tot wereld 3 en valt als zodanig dus in het in ontologisch opzicht objectieve domein. Een kwantitatieve beschrijving van de emergentie van een diepte-ervaring is met behulp van bijvoorbeeld een cartesiaans assenstelsel niet uitvoerbaar. De *ervaring* van een illusie opgedaan vanuit het eerstpersoonsperspectief mag *echt* zijn; hetgeen de illusie tot leven brengt, de diepte, is dat zelf niet. Het 'enige' dat kwantitatief beschreven kan worden is a) de symmetrische verhouding tussen de twee interpretaties van de lijnen op papier die elkaars spiegelbeeld vormen en b) de gekleurde gebieden op papier in termen van frequenties. Deze entiteiten behoren geen van alle tot wereld 2. De spiegelbeelden en gekleurde gebieden op papier horen in wereld 1 thuis en hun beschrijvingen in wereld 3.

Tot slot, de inzet van deze paragraaf is uitsluitend het illustreren van een symmetriebreking in wereld 2 geweest aan de hand van reversibele figuren met als resultaat de *emergentie van de ervaring van diepte*.²⁰ Opgemerkt dient te worden dat de inhoud van een ervaring spatio-temporeel van aard kan zijn maar dat de ervaring als zodanig deze eigenschap ontbeert.

2.3 Een voorbeeld van een symmetriebreking in wereld 3:

***Onderdeterminatie van theorieën*²¹**

2.3.1 Inleiding

In het begin van dit hoofdstuk is aangegeven dat een symmetrie in deze tekst beschouwd wordt als een transformatie van een entiteit waarbij sprake is van een

²⁰ De ontologische status van tijd en ruimte zelf komt in hoofdstuk 3 aan bod.

²¹ Bronnen: Blackburn (1996), van Fraassen (1980), Mainzer (1996), Quine (1951), (1975).

variant en een invariant aspect. Verder is gesteld dat een transformatie wordt gezien als een (letterlijke / beleefde / geconceptualiseerde) 'beweging' van een entiteit welke resulteert in een beeld van die entiteit. Deze omschrijving van een symmetrie geeft de ruimte om symmetrische relaties tussen entiteiten te onderscheiden die verder gaan dan de gebruikelijke symmetrische relaties in de (natuur)wetenschappen. In de (natuur)wetenschappen zijn symmetrische relaties tussen entiteiten doorgaans spatio-temporeel van aard. Echter, de bovenstaande omschrijving van een symmetrie laat ook symmetrische relaties tussen abstracte entiteiten zoals theorieën toe. Zo kunnen theorieën op elkaar worden afgebeeld wanneer ze dezelfde empirische slagkracht bezitten maar een andere locatie in de 'ontologische ruimte' innemen. Het invariante deel bij de afbeelding zijn de gelijkwaardige empirische vermogens van de theorieën en het variante deel in deze situatie is de ontologie die in de theorieën voorkomen.

In wereld 3 kunnen door de ruime opvatting over symmetrieën en symmetrische relaties verschillende soorten symmetriebrekingen optreden. Zo kunnen bij de volgende drie filosofische thema's symmetrische relaties tussen theorieën en symmetriebrekingen worden onderscheiden:

- 1) de abstractie van proposities en theorieën uit een gegeven holistische context
- 2) de "Duhem-Quine thesis"
- 3) de onderdeterminatie van theorieën door de data.

Deze drie filosofische thema's zijn nauw aan elkaar verwant en worden in de literatuur vaak met elkaar in verband gebracht. De aandacht in deze paragraaf zal met name uitgaan naar de onderdeterminatie van theorieën door de data. Echter, om de symmetriebreking(en) bij de onderdeterminatie van theorieën door de data zo helder mogelijk uit de doeken te doen en het onderscheid met de andere symmetriebrekingen duidelijk te maken, zullen de eerste twee thema's nu kort de revue passeren:

Ad 1) Volgens Mainzer gaat het abstraheren van kennis uit een gegeven holistische context gepaard met het breken van een symmetrie:

"From this perspective there are also no *"naked facts"*, such as positivists, empiricists, and common parlance invoke as the ultimate and objective instances of truth. Instead, scientific facts are human "inventions", as L. Fleck emphasized already in 1935, and not "discoveries." However, it should be pointed out right away, of course, that this is not meant to open the flood-gates to wild subjectivism. On the contrary: Here the criteria for rationality of scientific objectivity have a meaning that is precisely defined in logical-mathematical terms. The presentation of isolated facts and circumstances presupposes a *breaking of symmetry* in an originally holistic context." (Mainzer 1996, 587).²²

Dit citaat nodigt uit tot het maken van de volgende twee opmerkingen.

Ten eerste, de 'holistische context' is op zich ook weer een abstractie. De 'context' waarover het hier gaat, is door wetenschappers gekozen en is op zich weer te representeren met behulp van één grote propositie: "Which contexts are chosen is ultimately a human decision and a question of what research guidelines ("*norms*") researchers or groups of researchers choose for their orientation." (Mainzer 1996, 587). Deze (al dan niet methodologische) "*norms*" zijn net zo expliciet of impliciet als de criteria van rationaliteit zelf waarlangs een wetenschappelijk onderzoek zich ontwikkelt. Met andere woorden, het 'isoleren' van een propositie is niets anders dan het kiezen van een 'subcontext'.

Ten tweede, het gebruik van het woord 'holistisch' in de frase "a *breaking of symmetry* in an originally holistic context" houdt in dat de context meer is dan louter de optelling van feiten. Feiten vormen de samenstellende delen waaruit een context is opgebouwd. Het holistische karakter van context C staat de mogelijkheid om zijn constituenten en de daarbij behorende onderlinge relaties volledig expliciet op te noemen in de weg. Er is sprake van een netwerk dat enerzijds uit geconceptualiseerde kennis en anderzijds uit gematerialiseerde en dus ongeconceptualiseerde kennis (zoals fysieke instrumenten in een laboratoriumopstelling) kan bestaan.²³ Het totale netwerk is te beschouwen als een informatiestructuur met een willekeurige informatieverdeling (op een gegeven moment t) en is dus als zodanig symmetrisch van aard. Het abstraheren van informatie uit dit netwerk heeft een symmetriebreking tot gevolg. Er treedt namelijk een verandering op in de willekeurige informatieverdeling in het netwerk door de uitbreiding van het geconceptualiseerde deel van datzelfde netwerk. De emergente entiteit die ontstaat door de symmetriebreking en de gedaante die een propositie of theorie krijgt, is een nieuw stukje conceptualisatie van (een deel

²² Het breken van de symmetrieën vindt plaats door middel van abstracties: "From the point of view of *symmetry* this methodological holism à la Duhem-Quine is thoroughly justified. Given unrestricted validity of the principle of superposition, we proceed from a holism of quantum systems which is expressed mathematically in the symmetry of its comprehensive automorphism group. The *contexts* are determined in connection with the EPR-correlations and step-by-step abstractions from them are required in order to constitute objects, facts, etc." (Mainzer 1996, 586-587). (EPR-correlaties zijn correlaties in een onontwarbaar systeem die niet direct veroorzaakt zijn door fysische interacties. Het begrip 'EPR-correlatie' komt voort uit het gedachte-experiment van Einstein, Podolsky en Rosen uit 1935.) Voor de beschouwingen van Mainzer over de relatie tussen symmetrieën en de structuren van wetenschappelijke theorieën zie Mainzer 1996, 589-608.

²³ Zie Quine 'Two Dogmas of Empiricism' (1951, 1963, 42).

van) de werkelijkheid. Immers, na de symmetriebreking kan een geïsoleerd feit of omstandigheid worden gepresenteerd.²⁴

Ad 2) De Franse wetenschapshistoricus en wetenschapsfilosoof P. Duhem heeft laten zien dat het doorgaans moeilijk is om een te toetsen theorie definitief te falsifiëren, al dan niet met behulp van complexe experimenten (Duhem 1906, 189). Duhem laat zien dat om een theorie te falsifiëren niet alleen de theorie zelf in het falsificatieproces betrokken raakt, maar ook de hulptheorieën die de voorspelling van de uitkomst van het experiment mogelijk maken. Hieraan kan worden toegevoegd dat in het falsificatieproces ook de beginvoorwaarden en de vooronderstelling dat er geen storende factoren tijdens het experiment optreden zijn geïnvolveerd. Bij de weerlegging of falsificatie van een theorie blijkt dus dat de gehele conjunctie van theorie, hulptheorieën, beginvoorwaarden en de vooronderstelling van een storingsvrij experiment niet waar is (Derksen 1980, 143-144).²⁵ Hieruit volgt automatisch dat ten aanzien van het falsificatieproces de observationele en theoretische terminologie die deel uitmaken van de theorie en de hulptheorieën een gelijke status genieten.

W.V.O. Quine heeft in zijn artikel 'Two Dogmas of Empiricism' de kwestie die Duhem heeft aangevoerd geaccepteerd en verder aangescherpt. Duhem beperkte zich nog tot experimenten uit de natuurkunde. Quine gaat verder door te stellen dat je een hypothese niet alleen niet geïsoleerd kunt testen, maar dat het zelfs niet mogelijk is om te zeggen waar die hypothese over gaat. Deze opvatting leidt tot een radicale vorm van 'betekenis-holisme'. Quine is van mening dat elke vorm van kennis in relatie staat tot alle andere vormen van kennis en dat het "geïsoleerd" beschouwen van een individuele propositie alleen kan plaatsvinden door middel van een abstractie. De holistische opvatting van Quine heeft tot gevolg dat evenals bij Duhem beweringen niet afzonderlijk maar theorieën, waarin deze beweringen zijn verdisconteerd, in hun totaliteit getoetst worden aan de ervaring.

Sinds het werk van Quine leeft de (vermeende) onderdeterminatie van theorieën voort onder de naam "Duhem-Quine thesis" of "Quine-Duhem thesis":

²⁴ Uitgaande van de veronderstelling dat het 'private-language argument' van Wittgenstein afdoende overtuigend is dient het volgende nog te worden opgemerkt. 'Other minds' zijn van cruciaal belang om de symmetriebrekingen te laten plaatsvinden en de publiekelijk toegankelijk geïsoleerde feiten tot stand te laten komen. (Zie ook hoofdstuk 1, deel A, paragraaf 4.2.)

²⁵ Het falsificatieprincipe is door Popper aangewend als demarcatie criterium om wetenschap van pseudo-wetenschap te onderscheiden (Popper 1968, 40). Een vraag die zich aandient, is in hoeverre de driewereldentheorie van Popper zelf te falsifiëren is en als zodanig wetenschappelijk genoemd mag worden.

“..... The thesis that a single scientific hypothesis cannot be tested in isolation, since other, auxiliary hypotheses will always be needed to draw empirical consequences from it. The Duhem thesis implies that refutation is a more complex matter than might appear. It is sometimes framed as the view that a single hypothesis may be retained in the face of any adverse empirical evidence, if we are prepared to make modifications elsewhere in our system;” (Blackburn 1996, 110).

Radicale veranderingen van theorieën gaan gepaard met veranderingen van de ontologie die aan deze theorieën ten grondslag liggen. Er treedt een wijziging op van datgene wat er volgens een theorie en degenen die haar aanhangen bestaat. Wanneer empirische data verenigbaar zijn met verscheidene in ontologisch opzicht verschillende theorieën, is er sprake van een empirische equivalentie tussen die theorieën en een onderdeterminatie van die theorieën door de empirische data waarop die theorieën gebaseerd zijn. Als de observationele consequenties van deze theorieën verschillend zijn, is er slechts sprake van een zwakke empirische equivalentie tussen deze theorieën. Zijn de observationele consequenties gelijk, dan is er sprake van een sterke empirische equivalentie tussen deze theorieën.²⁶ (In deze context zou ook het onderscheid aangebracht kunnen worden tussen zwakke en sterke symmetrische relaties tussen theorieën.)

Een ander belangrijk onderscheid aangaande de “Duhem-Quine thesis” waar de aandacht op gevestigd moet worden, is het onderscheid tussen de semantische onderdeterminatie van theorieën en de onderdeterminatie van theorieën door de data. In de literatuur wordt er vaak vanuit gegaan dat de onbepaaldheid van betekenis (“indeterminacy of translation”) een speciaal geval is van de onderdeterminatie van theorieën. Zo menen sommige auteurs dat de onbepaaldheid van betekenis de toepassing is van de onderdeterminatie van theorieën op het gebied van de taalwetenschappen (Chomsky 1969). Op de precieze relatie tussen de semantische onderdeterminatie van theorieën en de onderdeterminatie van theorieën door de data zal in deze paragraaf niet ingegaan worden. In het artikel ‘Translations and Theories: On the Difference between Indeterminacy and Underdetermination’ (2001) van Peijnenburg en Hünnefeld is op overtuigende wijze aangetoond dat er goede redenen zijn om deze kwesties duidelijk van elkaar te onderscheiden.

²⁶ ...intuitively, the theories may always make the same observation predictions given any actual or possible set of initial and boundary conditions. In Van Fraassen's (1980) terms, there is a mapping of the empirical substructures of every model of the one theory into the empirical substructures of one or more of the models of the other theory, and vice versa.' (Hofer and Rosenberg 1994, 601).

Dat het werk van Duhem en Quine invloedrijk is, blijkt uit de omvangrijke literatuur waarin o.a. allerlei algoritmen terug te vinden zijn die moeten aantonen dat ten aanzien van elke theorie er een empirisch equivalent te construeren valt. De grote hoeveelheid artikelen en publicaties die de laatste decennia is verschenen over dit onderwerp, toont aan dat de discussie over de onderdeterminatie van theorieën en de onbepaaldheid van betekenis nog springlevend is.²⁷

Om het tot dusver gevoerde betoog concreter te maken zal tot slot een voorbeeld van een episode uit de wetenschapsgeschiedenis de revue passeren waarop de "Duhem-Quine thesis" kan worden toegepast. Het betreft de quantummechanica. De 'verborgen-variabelen' in de quantummechanica en het probabilistische karakter van deze theorie zorgen ervoor dat er in de quantummechanica empirisch equivalente modellen op te stellen zijn. Wanneer de algebra van de observabelen wordt teruggebracht tot statistiek zijn er verschillende modellen die evenveel recht doen aan de waargenomen fenomenen. (Van Fraassen 1980, 68).²⁸ De onbepaaldheid van betekenis met behoud van de waargenomen fenomenen komt prachtig tot uitdrukking in de discussie over Bohms 'verborgen-variabelen theorie' en Bohrs Kopenhaagse interpretatie van de quantummechanica.

Ad 3) In dit deel staat uitsluitend de onderdeterminatie van theorieën door de data centraal en wordt, in tegenstelling tot het vorige deel ('Ad 2'), de al dan niet vermeende relatie met de semantische onderdeterminatie van theorieën met rust gelaten. In paragraaf 2.3.2 wordt een concrete passage uit de wetenschapsgeschiedenis uiteengezet waarin de onderdeterminatie van theorieën door de data aan de orde is. Deze passage betreft de periodes waarin Newton en Maxwell hun theorieën opstelden.

²⁷ Om een aantal voorbeelden aan te halen: Van Fraassen (1980), Merrill (1980), Smart (1982), Putnam (1983), Brueckner (1984), Devitt (1984), Lewis (1984), Hansen (1987), Heller (1988), Laudan (1990), Laudan en Leplin (1991), (1993), Anderson (1992), (1993), Van Cleve (1992), Kukla (1993), (1994), (1996), Douven (1994), Hofer en Rosenberg (1994), De Regt (1994), Leplin (1997).

²⁸ Het volgende citaat uit het boek van Van Fraassen laat zien hoe de symmetrische relatie tussen (quantummechanische) theorieën uitgedrukt kan worden in termen van modellen: "If for every model M of T there is a model M' of T' such that all empirical substructures of M are isomorphic to empirical substructures of M' , then T is empirically at least as strong as T' . Let us abbreviate this to: $T >_e T'$." en verder "Logical strength is determined by the class of models (inversely: the fewer the models the (logically) stronger the theory!) and empirical strength is similarly determined by the classes of empirical substructures. If $T >_e T'$ and $T' >_e T$, then they are empirically equivalent." (Van Fraassen 1980, 67-68).

In paragraaf 2.3.3 wordt het fenomeen van de onderdeterminatie van theorieën door de data op een abstracter en algemener niveau in verband gebracht met symmetrieën en symmetriebrekingen. Paragraaf 2.3.4 laat zien hoe deze symmetriebrekingen plaatsvinden bij de overgang van Newtons zwaartekrachtstheorie naar Einsteins relativiteitstheorie.

2.3.2 Empirische equivalenten van Newtons theorie

Newton (1642 – 1727) ging er vanuit dat absolute beweging beweging is die relatief ten opzichte van de absolute ruimte plaatsvindt. Hij nam ook aan dat het centrum van het zwaartekrachtsveld van het zonnestelsel zich in absolute rust bevindt. Verder heeft Newton in zijn *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (1687) aangegeven dat alleen een relatieve beweging identificeerbaar is en wel als het verschil tussen absolute bewegingen. (Dit is een gevolg van het feit dat het onmogelijk is de absolute beweging van de aarde te bepalen aan de hand van andere hemellichamen. Het is zelfs denkbaar dat de aarde zich in absolute rust bevindt in plaats van zich rond de zon te bewegen.)

Van Fraassen stelt voor om, uitgaande van Newtons theorie (mechanica en zwaartekracht) TN, theorie TN(v) op te vatten als de theorie TN in combinatie met de aanname dat het centrum van het zwaartekrachtsveld van het zonnestelsel de constante absolute snelheid v heeft. Van Fraassen stelt dat volgens Newtons eigen opvatting de theorie TN(0) empirisch adequaat is en dat als TN(0) empirisch adequaat is dat ook alle theorieën TN(v) dat dan zijn (Van Fraassen 1980, 46). Het tweede deel komt erop neer dat als de verzameling van observeerbare fenomenen aangaande de mechanica en zwaartekracht gelijkgesteld wordt met DN (domein van Newtons theorie) de volledige theorie van Newton de volgende stelling impliceert (waarbij EA(T,D) aangeeft dat theorie T empirisch adequaat is met betrekking tot domein D):

NewStel: Als EA(TN(0), DN) dan EA(TN(v), DN) en vice versa.²⁹

Dit is als volgt in te zien. Overeenkomstig de definitie van empirische adequaatheid³⁰ geldt EA(T,D) desda “if what it says about the observable things and events in this world [voorzover het D betreft], is true”. Verder zijn alle theorieën TN(v) empirisch equivalent als alle bewegingen in een model van TN(v) isomorf zijn met de bewegingen in een model TN(v+w) voor alle constante snelheden v en w (Van Fraassen 1980, 46). Met andere woorden, $TN(v) \approx_{EE-DN} TN(v+w)$ voor alle constante snelheden v en w, waarbij ‘T1 \approx_{EE-D} T2’ staat voor de empirische equivalentie tussen T1 en T2 met betrekking tot D. Dat wil zeggen T1 en T2 hebben dezelfde observationele consequenties. *NewStel/*

volgt nu direct uit het plausibele conceptuele verband:

$T1 \approx_{EE-D} T2$ impliceert $EA(T1,D)$ desda $EA(T2,D)$

Uit *NewStel* moet geconcludeerd worden dat de mens, gezien zijn waarnemingsvermogen, op basis van deze informatie niet in staat is een keuze te maken uit de theorieën $TN(v)$. De alternatieve theorieën komen volledig overeen met alle observationele resultaten. Ze zijn ondergedetermineerd door de data.

Reflecties op het fenomeen elektromagnetisme blijken in deze situatie geen verandering te kunnen brengen. Men was gedwongen aan te nemen dat de kracht tussen twee geladen objecten door elektromagnetisme, afhankelijk is van de snelheid van de objecten alsook van hun afstand ten opzichte van elkaar. Maxwell (1831-1867) ontwikkelde een theorie over elektromagnetisme die de gehele ruimte erin betreft;

‘It appears therefore that certain phenomena in electricity and magnetism lead to the same conclusions as those of optics, namely, that there is an ethereal medium pervading all bodies, and modified only in degree by their presence...’³¹

Het domein van de waarneembare fenomenen aangaande electromagnetisme wordt hierna afgekort tot DE (“domain of electromagnetic phenomena”) en het domein van gravitationele fenomenen tot DG (“domain of gravity phenomena”). De afkorting DGE wordt gebruikt voor het domein van de (mogelijk gecombineerde) fenomenen betreffende de zwaartekracht en electromagnetisme. Het gecombineerde domein DGE is te beschouwen als een uitbreiding van de afzonderlijke domeinen DG en DE. De kracht van een geladen lichaam is een kracht die uitgeoefend wordt door dit ‘ethereal medium’ en hangt af van de positie en de snelheid van het lichaam (Van Fraassen 1980, 48). Wanneer de theorie van Newton wordt uitgebreid met de theorie van Maxwell blijkt de onderdeterminatie van theorieën voort te blijven bestaan.

²⁹ Er geldt dat $DN \subset DG$ (“domain of gravity phenomena”). Domein DN is domein DG beperkt tot ‘lage snelheden’.

³⁰ Zie Van Fraassen 1980, 12. Uit de context van deze tekst blijkt dat Van Fraassen ook volledigheid ten opzichte van D bedoelt. Immers, hij spreekt over “all the phenomena”. Zie ook Van Fraassen 1989, 227-228.

³¹ Dit citaat heeft Van Fraassen ontleend aan ‘A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field’ uit *Philosophical Transactions* 155 (1865). Deze passage is terug te vinden op pagina 293 van een gedeeltelijke herdruk van dit artikel in *Great Experiments in Physics* (1959), M.H. Shamos (Van Fraassen 1980, 219-220).

Dit wordt nu inzichtelijk gemaakt.

Stel dat men aan TN niet alleen de hypothese :

'H0 The centre of gravity of the solar system is at absolute rest.'

toevoegt, zodat TN&H0 neerkomt op TN(0), maar ook de hypothese

'E0 Two electrified bodies moving in parallel, with absolute velocity u , attract each other with force $F(u)$.' (Van Fraassen 1980, 49-50).

De observationele consequenties ('strictly about appearances') van $TNE(0) =_{\text{def}} TN(0) \& E0$ zijn dan als volgt te omschrijven:

'CON Two electrified bodies moving with velocity u relative to the centre of gravity of the solar system, attract each other with the force $F(u)$.' (Van Fraassen 1980, 50).³²

Hetzelfde resultaat wordt bereikt wanneer men in plaats van H0 en E0 de volgende alternatieve hypothesen aan TN toevoegt³³:

'Hv The centre of gravity of the solar system has absolute velocity v .

'Ev Two electrified bodies moving [in parallel] with absolute velocity $u + v$ attract each other with force $F(u)$.' (Van Fraassen 1980, 50, changing variables).

Met andere woorden, volgens Van Fraassen is er voor elke theorie TN(v) (= TN & Hv) een theorie over elektromagnetisme Ev te formuleren zodanig dat de theorie E0 toegeschreven dient te worden aan Maxwell en zodat alle gecombineerde theorieën $TNE(v) =_{\text{def}} TN(v) \& Ev$ empirisch equivalent zijn (Van Fraassen 1980, 50). Formeel geformuleerd: $TNE(v) \approx_{EE-DGE} TNE(v+w)$ voor alle constante snelheden v en w .

In de inleiding van dit hoofdstuk is aangegeven dat de voorbeelden 'slechts'

³² Deze frase uit de tekst van Van Fraassen levert interpretatieproblemen op. De 'appearances' zijn moeilijk verenigbaar met CON. Immers, 'CON Two electrified bodies..... the force $F(u)$.' is niet observeerbaar. Bedoelt Van Fraassen dat $\text{ObsCon}(TNE(0)) = \text{ObsCon}(CON)$?

³³ Deze bewering is niet geldig bij een dynamisch perspectief en is moeilijk op een klassieke manier in te vullen. Deze technische kwestie laat de filosofische essentie van dit betoog overigens ongemoeid.

gepresenteerd en niet aan een evaluatie onderworpen worden. Toch moet er met betrekking tot de concrete uitwerking van de onderdeterminatie van theorieën aan de hand van Newtons theorie een kritische noot worden geplaatst. Veel fysici zullen het niet met Van Fraassen eens zijn dat $TN(v)$ en $TN(v+w)$ verschillende theorieën zijn. Zij menen dat $TN(v)$ en $TN(v+w)$ dezelfde theorieën zijn met een Galileï-invariantie.³⁴ Als de positie van de critici gevolgd wordt, moet het voorbeeld van de empirisch equivalente theorieën van Newtons theorie als een 'speelgoed voorbeeld' van de onderdeterminatie van theorieën worden beschouwd. De cruciale vraag is of er een concreet voorbeeld uit de wetenschap gegeven kan worden van de onderdeterminatie van theorieën dat voor iedereen overtuigend is. Er lijkt voor een aantal wetenschappers een onoverbrugbare kloof te bestaan tussen de *theoretische mogelijkheid* om empirisch equivalente theorieën te genereren en wat de wetenschap in de *praktijk* laat zien.³⁵ Op dit moment kan geconstateerd worden dat empirisch equivalente theorieën in de praktijk eigenlijk alleen maar voorkomen in de quantummechanica maar daar terdege een serieuze rol vervullen.

Om verder te kunnen gaan met paragraaf 2.3 wordt aangenomen dat de weergave van Newtons theorie en de ontwikkeling van empirisch equivalente theorieën door Van Fraassen correct is. De empirisch equivalenten van Newtons theorie (al dan niet later uitgebreid met de theorie van Maxwell) die Van Fraassen naar voren schuift,

³⁴ Een Galileï-transformatie is de (klassiek) wiskundige relatie tussen ruimte- en tijdcoördinaten (x, y, z, t) van een bewegend stelsel ten opzichte van die van een stilstaand stelsel. Aangezien gesteld is dat alle theorieën $TN(v)$ empirisch equivalent zijn met $TN(v+w)$ als alle bewegingen in een model van $TN(v)$ isomorf zijn met de bewegingen in een model $TN(v+w)$ voor alle constante snelheden v en w , is er hier sprake van een Galileï-invariantie. Immers, zowel $TN(v)$ als $TN(v+w)$ zijn bewegende stelsels. (Overigens, de Galileï-transformatie geldt alleen in de mechanica van Newton en niet in de relativiteitstheorie van Einstein.)

³⁵ De woorden van Einstein uit 1918 maken dit verschil nog eens zeer helder. Zo valt in de *Stanford Encyclopedia of Philosophy* onder het onderwerp *Albert Einstein, Philosophy of Science*, by Don A. Howard, 2004 te lezen dat: "The supreme task of the physicist is.... the search for those most general, elementary laws from which the world is to be obtained through pure deduction. No logical path leads to these elementary laws; it is instead just the intuition that rests on an empathic understanding of experience. In this state of methodological uncertainty one can think that arbitrarily many, in themselves equally justified systems of theoretical principles were possible; and this opinion is, *in principle*, certainly correct. But the development of physics has shown that of all the conceivable theoretical constructions a single one has, at any given time, proved itself unconditionally superior to all others. No one who has really gone deeply into the subject will deny that, in practice, the world of perceptions determines the theoretical system unambiguously, even though no logical path leads from the perceptions to the basic principles of the theory. (Einstein 1918, 31; my [Howard's] translation)".

wijken in *ontologisch* opzicht 'voldoende' af van de oorspronkelijke theorie om van daadwerkelijk verschillende theorieën te kunnen spreken.³⁶

2.3.3 Onderdeterminatie van theorieën door de data en symmetriebrekingen

In paragraaf 2.3.2 is aan de hand van Newtons theorie de onderdeterminatie van theorieën door de data toegelicht. In deze paragraaf wordt de daadwerkelijke symmetriebreking tussen empirisch equivalente theorieën behandeld.

Gestart wordt met de volgende twee zaken:

- 1) een *holistische context* C .
- 2) een door wetenschappers gekozen domein D .

Domein D is een subverzameling van context C , oftewel: $D \subseteq C$. Stel er zijn voor de beschrijving van domein D twee theorieën $T_1, T_2 \dots$ door wetenschappers opgesteld. De wijze waarop T_1 en T_2 tot stand komen doet niet terzake ('context of discovery'). Zolang T_1 en T_2 empirisch equivalent zijn (en in ontologisch opzicht eventueel van elkaar verschillen) is er met betrekking tot de beschrijving van domein D sprake van een symmetrische verhouding tussen de theorieën T_1 en T_2 . Formeel genoteerd: $T_1 \approx_{EE-D} T_2$. Zoals al eerder opgemerkt, het is deze symmetrische verhouding die als uitgangspunt dient voor de uitvoerige demonstratie van een symmetriebreking in wereld 3. Ook is al eerder aangegeven dat er wordt uitgegaan van een conceptueel verband tussen empirische equivalentie en de empirische adequaatheid van een theorie T in relatie tot domein D ($EA(T,D)$). Dit levert gezamenlijk de volgende bewering op:

$T_1 \approx_{EE-D} T_2$ impliceert dat $EA(T_1,D)$ desda $EA(T_2,D)$.

Er kunnen nu twee typen (potentiële) symmetriebrekingen optreden met betrekking tot $T_1 \approx_{EE-D} T_2$

³⁶ Er is sprake van ontologisch *verschillende* theorieën wanneer de domeinen van de betrokken theorieën ten minste één kenmerk (bijv. snelheid) niet met elkaar gemeen hebben. (Newtons oorspronkelijke theorie en de empirisch equivalenten van deze theorie wijken ontologisch gezien onderling voor ten minste één kenmerk van elkaar af. Hetzelfde geldt voor de gecombineerde theorie van Newton en Maxwell.) Immers, theorieën die onderling afwijkende domeinen laten zien geven de werkelijkheid niet op verschillende manieren weer, maar representeren verschillende werkelijkheden of verschillende delen van de werkelijkheid.

Type-1-symmetriebreking:

We spreken van een potentiële type-1-symmetriebreking als een propositie P uit C-D wordt toegevoegd aan de theorieën T1 en T2 ('theory strengthening'). Formeel genoteerd: $TP1 = T1 \& P$ en $TP2 = T2 \& P$. Propositie P mag niet geïmpliceerd worden door T1 of T2, noch daarmee in strijd zijn. Uiteraard hoeven TP1 en TP2 nu niet empirisch equivalent te blijven met betrekking tot D. Het kan bijvoorbeeld zijn dat TP2 één of meer empirische gevolgen heeft die geen gevolg zijn van TP1 en/of dat TP1 empirische gevolgen heeft die geen gevolg zijn van TP2. Experimenten kunnen uitwijzen dat deze doorbreking van empirische equivalentie in het voordeel is van T2. Als dat zo is, is TP2 empirisch adequater dan (T1 en T2 en dan) TP1 en is er sprake van een type-1-symmetriebreking.³⁷ Of, anders geformuleerd, TP2 emergeert uit T2 als een nieuwe en empirisch adequatere theorie voor domein D door het optreden van een succesvolle type-1-symmetriebreking tussen T1 en T2 met behulp van propositie P.

Type-2-symmetriebreking:

De potentiële type-2-symmetriebreking houdt een mogelijke uitbreiding in van domein D naar domein D*. Voor een type-2-symmetriebreking geldt verder dat de theorieën TP1 en TP2 niet empirisch equivalent zijn met betrekking tot domein D*. Voor D* geldt dat: $D \subset D^* \subseteq C$. De werkelijke uitbreiding van domein D naar domein D* houdt een succesvolle type-2-symmetriebreking in ten voordele van theorie TP2 wanneer TP2 meer empirisch adequaat is dan theorie TP1 met betrekking tot domein D*. Of anders geformuleerd, bij een succesvolle type-2-symmetriebreking emergeert D* uit D als het meer empirisch adequate domein voor een bepaalde theorie met behulp van C-D.

De aanpak van de twee typen symmetriebrekingen kan gezien worden als een plausibele hybride vorm van de standaard - en de structuralistische aanpak van theorieën (Kuipers 2001, 316-343). Het structuralistische facet komt met name tot uitdrukking door het domein te expliciteren. Maar dat kan ook uitstekend worden gedaan bij de standaardbenadering van theorieën. Echter, in dit betoog zal er steeds volgens de 'hybride aanpak' gemodelleerd worden.

De twee typen symmetriebrekingen (type-1 en type-2) kunnen worden gecombineerd.

³⁷ De empirische adequaatheid van een theorie komt tot uitdrukking in de compatibiliteit van die theorie met alle mogelijke evidentie. Een theorie T1 is empirisch adequater dan een theorie T2 als theorie T1 empirisch adequaat is en meer verklaart dan theorie T2. (Overigens is het in deze situatie niet noodzakelijk dat theorie T2 empirisch adequaat is.)

De situatie vóór de symmetriebreking is als volgt:

$$T1 \approx_{EE-D} T2 \approx_{EE-D^*} \lceil D \rceil T3.$$

Hierbij staat ' \lceil ' voor restrictie, zodat ' $D^* \lceil D$ ' gelezen moet worden als 'domein D^* beperkt tot domein D '. Theorie $T3$ is een theorieversterking van $T2$ en domein D^* is een uitbreiding van D .

De situatie na de symmetriebreking is als volgt:

$$T1 \text{ niet-}\approx_{EE-D^*} T3 \text{ en } T2 \text{ niet-}\approx_{EE-D^*} T3.$$

De theorie $T3$ is empirisch adequater met betrekking tot domein D^* dan de theorieën $T1$ en $T2$. (Zie voetnoot 37 voor de uitleg van het begrip 'empirisch adequater'.)

De conclusie die getrokken kan worden is dat de voltrekking van een symmetriebreking in wereld 3 gepaard gaat met de emergentie van een nieuwe entiteit, te weten theorie $T3/D^*$, die een empirisch adequatere beschrijving van de werkelijkheid (of een deel hiervan) laat zien.

Met betrekking tot de relatie tussen verschillende theorieën en het gebruik van propositie P uit $C-D$ is nog een derde type symmetriebreking te onderscheiden. Theorieën kunnen namelijk worden opgevat als elkaars *idealisatie* of elkaars *concretisering*. Een geïdealiseerde theorie (TI) is *logisch equivalent* met de combinatie van de geconcretiseerde theorie (TC) en een idealiserende propositie P . Formeel uitgedrukt:

Type-3-symmetriebreking:

$$TI =_{LE} TC \& P \quad ('=_{LE}' \text{ betekent logisch equivalent}).$$

Bij de voltrekking van een type-3-symmetriebreking emergeert er een *equivalentie-relatie* op de verzameling theorieën. Logisch equivalente theorieën zitten in één equivalentieklasse. De symmetrie die gebroken wordt betreft de relatie tussen de theorieën in de oorspronkelijke verzameling theorieën.

In de komende paragraaf kunnen de type-1-, type-2- en type-3-symmetriebrekingen in actie worden aanschouwd.

2.3.4 De theorie van Newton en de voltrekking van type-1-, type-2- en type-3-symmetriebrekingen

Om de beschreven typen symmetriebreking in wereld 3, gemodelleerd naar de 'hybride aanpak', concreet in actie te zien, wordt nu teruggekeerd naar Newtons mechanica (zie paragraaf 2.3.2).³⁸

De theorie van Newton en haar empirisch equivalenten zijn volgens de 'hybride aanpak' van theorieën als volgt weer te geven:

$$TN(v) \approx_{EE-DN} TN'(v) \approx_{EE-DN} \dots \dots \dots \text{waarbij}$$

' TN(v) ' staat voor de theorie van Newton,

' TN'(v) ' staat voor een empirisch equivalent van Newtons theorie en

' DN ' staat voor het domein waarvoor de theorie van Newton en haar empirisch equivalenten geldig zijn. (Domein DN is domein DG beperkt tot 'lage snelheden'.)

Verder geldt dat:

$$TN(v) \approx_{EE-DN} TN'(v) \text{ impliceert dat } EA(TN(v), DN) \text{ desda } EA(TN'(v), DN).$$

Uit de wetenschapsgeschiedenis is gebleken dat Newtons mechanica 'slechts' een deel beschrijft van alle verschijnselen die door Einsteins relativiteitstheorie kunnen worden beschreven. Immers,

1) de newtoniaanse mechanica stelt bijvoorbeeld aan het heelal de eis dat dit eindig is en in de ruimte begrensd moet zijn. Een oneindige ruimte waarin de materie verdeeld is, leidt tot een oneindig groot totaal aan zwaartekrachtinvloeden op elk punt in de ruimte als gevolg van het oneindige aantal afzonderlijke aantrekkingskrachten die door alle andere punten worden uitgeoefend. Het is dus erg moeilijk om de zwaartekrachts- en bewegingstheorie van Newton toe te passen op het heelal als geheel (Barrow 1991, 57). Dit geldt ook voor het volgende punt.

2) Newtons theorie is niet in staat uit de doeken te doen hoe veranderingen in het heelal plaatsvinden. Newtons determinisme is alleen toepasbaar als het heelal in elke richting met exact dezelfde snelheid uitdijt of inkrimpt. Het gebruik van absolute ruimte en tijd maakt de theorie onvolledig (Barrow 1991, 57).

De drijfveer achter de ontwikkeling van de relativiteitstheorie was het feit dat de

³⁸ Zie voor een heldere beschrijving van de axiomatisering van de klassieke mechanica en de natuurfilosofische opvattingen van Newton *De mechanisering van het wereldbeeld* van E.J. Dijksterhuis.

elektromagnetische theorie van Maxwell strijdig is met de theorie van Newton. De theorie van Maxwell is alleen verenigbaar met de theorie van Newton voor zover het de elektrostatica betreft. De elektrostatica is een onderdeel van de elektriciteitsleer waarin elektrische verschijnselen worden behandeld die betrekking hebben op stilstaande ladingen en elektrostatiche velden. Wanneer er magnetische straling aan te pas komt, zoals dat bijvoorbeeld bij bewegende magneten het geval is, faalt de theorie van Newton. De theorie van Maxwell voorspelt dat radio- en lichtgolven zich met een constante snelheid voortbewegen en impliceert daarmee ook het bestaan van absolute rust. Het is juist het concept 'absolute rust' dat niet voorkomt in de theorie van Newton. De introductie van het concept 'ether', een stof die overal aanwezig is, zelfs in de lege ruimte, moest een oplossing bieden voor de onverenigbaarheid van Maxwells en Newtons theorie. Het was Einstein die met zijn relativiteitstheorie liet zien dat het idee van een 'ether' overbodig is zodra het concept 'absolute tijd' wordt losgelaten. Omdat het niet zozeer de drijfveren zijn achter de ontwikkeling van de relativiteitstheorie die interessant zijn voor dit betoog, maar veeleer het feit dat de relativiteitstheorie in de wetenschapsgeschiedenis ten tonele verschijnt, zal hier niet verder bij stilgestaan worden. Waar het hier om gaat zijn de symmetriebrekingen die zich voltrekken bij de overgang van Newtons mechanica naar Einsteins relativiteitstheorie.

Een concrete en succesvolle type-1-symmetriebreking:

De empirische equivalentie tussen TN, TN', kan worden opgeheven door één of meerdere proposities, die nieuwe feiten weergeven, aan de theorieën toe te voegen. Om deze bewering concreter te maken worden nu twee voorbeelden van nieuwe feiten, die middels een propositie P kunnen worden weergegeven, besproken:

1) Eén van de belangrijkste veranderingen van de relativiteitstheorie ten opzichte van de mechanica van Newton is dat tijd en ruimte niet langer twee aparte grootheden vertegenwoordigen maar tezamen worden genomen. Deze constellatie wordt ook wel de spatio-temporele ruimte genoemd. Omdat er een koppeling bestaat tussen de materie en het weefsel van de ruimte-tijd, betekent een singulariteit in de materiële inhoud van de ruimte-tijd (zoals bijvoorbeeld de oneindige materiedichtheid die in het traditionele oerknalmodel optreedt) dat er ook een eind komt aan de ruimte-tijd zelf (Barrow 1991, 59).³⁹ (Het ontstaan van de spatio-temporele ruimte en dus van het heelal kan worden afgebeeld als een grote parabool.⁴⁰ Zie Barrow 1991, 60.)

2) Een ander groot verschil tussen de mechanica van Newton en de relativiteitstheorie van Einstein is de opname van de constante c in de relativiteitstheorie die staat voor de voortplantingssnelheid van licht in vacuüm. (Deze bedraagt $2,997925 \cdot 10^8$ m s^{-1} .) Was de kinetische energie van een puntdeeltje met massa m in de mechanica van Newton nog gelijk aan $\frac{1}{2} m \cdot v^2$, in de relativiteitstheorie geldt $E_{kin} = m \cdot c^2 / [\sqrt{1-(v^2/$

$c^2)) - m \cdot c^2$ waarbij c de lichtconstante is en m nu de 'rustmassa' aangeeft.⁴¹

De volgende definities kunnen nu worden opgesteld: $TEin =_{\text{def}} TN \& P$ en $TEin' =_{\text{def}} TN' \& P$. (Hierbij staat propositie P voor nieuwe kennis zoals de twee bovenstaande voorbeelden laten zien.) De theorieën $TEin$ en $TEin'$ hoeven niet empirisch equivalent te zijn met betrekking tot DN . Het kan bijvoorbeeld zijn dat $TEin'$ één of meer empirische gevolgen heeft die geen gevolg zijn van $TEin$ en/of dat $TEin$ één of meer empirische gevolgen heeft die geen gevolg zijn van $TEin'$. De wetenschapsgeschiedenis leert dat ondanks de pretentie van Newtons theorie, nl. overall en altijd geldig te zijn, nieuwe observaties kunnen leiden tot het opstellen van een nieuwe theorie met dezelfde pretentie. De relativiteitstheorie levert een verzameling extra proposities, tezamen kennisbestanddeel P vormend, die ervoor zorgdraagt dat de empirische equivalentie tussen TN , TN' , middels een type-1-symmetriebreking wordt opgeheven. Immers, het gegeven dat kennisbestanddeel P niet geïmpliceerd wordt door theorie TN (noch daarmee in strijd is), zorgt ervoor dat de theorie $TEin$ andere voorspellingen met zich meebrengt dan de theorieën $TN' \& P$, $TN'' \& P$ etc. (= $TEin'$, $TEin''$ etc.) dat doen. De theorie $TEin$ is empirisch adequater dan $TEin'$ (en dan TN en TN') omdat de extra voorspellingen (t.o.v. $TEin'$) die voortvloeien uit $TEin$ door experimenten empirisch zijn getoetst en bekrachtigd. De doorbreking van de empirische equivalentie tussen de theorieën TN , TN' etc. is in dit geval in het voordeel van $TEin$ uitgevallen. Samenvattend, de theorie $TEin$ is geëmergeerd uit TN als een nieuwe en empirische adequatere theorie voor domein DN door het optreden van een succesvolle type-1-symmetriebreking tussen TN , TN' etc.

Een concrete en succesvolle type-2-symmetriebreking:

De theorieën $TN(v)$, $TN'(v)$, zijn empirisch equivalent met de theorie $TEin$ zolang het domein DN in ogenschouw wordt genomen. Bij het hier gegeven voorbeeld van een type-2-symmetriebreking geldt dat de theorieën TN en $TEin$ niet empirisch equivalent zijn met betrekking tot domein $DEin$ (= domein DG inclusief 'hoge snelheden'). Voor $DEin$ geldt dat: $DN \subset DEin \subseteq C$. De werkelijke uitbreiding van domein DN naar domein

³⁹ De 'oorspronkelijke singulariteit' is de toestand (moment 0) die teruggaand in de tijd volgt op het onbegrensd groeien van de temperatuur en de dichtheid van het heelal en dus gekenmerkt wordt door een oneindig hoge temperatuur en een oneindig hoge dichtheid.

⁴⁰ De parabool kan ook worden gebruikt om het ontstaan en verloop van wereld 2 en wereld 3 weer te geven.

⁴¹ Zie Einstein 1997, 40. (Dit werk is zeer geschikt voor degenen die zich verder willen verdiepen in de verschillen tussen de theorie van Newton en die van Einstein wat betreft algemene wetenschappelijke en filosofische aspecten.)

DEin houdt een succesvolle type-2-symmetriebreking in ten voordele van theorie TEin wanneer TEin meer empirisch adequaat is dan theorie TN met betrekking tot domein DEin. Of anders geformuleerd, bij een succesvolle type-2-symmetriebreking emergeert DEin uit DN als het meer empirisch adequate domein voor TEin met behulp van C-DN.

De combinatie van de twee concrete symmetriebrekingen levert het volgende resultaat op.

De situatie vòòr de symmetriebreking is als volgt:

$TN \approx_{EE-DN} TN' \approx_{EE-DEin} \lceil DN \rceil TEin.$

Hierbij moet 'DEin $\lceil DN \rceil$ ' gelezen worden als 'domein DEin beperkt tot domein DN'. Theorie TEin is een theorieversterking van TN en domein DEin is een uitbreiding van DN.

De situatie nà de symmetriebreking is als volgt:

$TN \text{ niet-}\approx_{EE-DEin} TEin \text{ en } TN' \text{ niet-}\approx_{EE-DEin} TEin.$

(Verder geldt nà de symmetriebreking overigens dat: $TN \approx_{EE-DEin} TN'$.)

Theorie TEin is empirisch adequater met betrekking tot domein DEin dan de theorieën TN en TN'.

Wanneer de theorie van Newton gecombineerd wordt met de theorie van Maxwell geldt ook, conform de 'hybride aanpak', dat nà de symmetriebreking:

$TNE \text{ niet-}\approx_{EE-DGE} TEin.$

Deze constatering is een gevolg van het feit dat TEin meer empirisch adequaat is dan TNE met betrekking tot domein DGE.

Wanneer men de geschiedenis van de natuurkunde bestudeert, kan gesteld worden dat de relativiteitstheorie van Einstein op te vatten is als een *concretisering* van Newtons theorie. Of anders geformuleerd, Newtons theorie is te beschouwen als een *idealisatie* van Einsteins relativiteitstheorie als het gevolg van *conceptuele* vooronderstellingen. Deze beweringen vragen om enige toelichting.

Gestart wordt met een definitie van een 'concept' zoals deze terug te vinden is in het boek *Conceptual Revolutions* van Paul Thagard:

"My proposal then is to think of concepts as complex structures akin to frames, but (1) giving

special priority to kind and part-whole relations that establish hierarchies and (2) expressing factual information in rules that can be more complex than simple slots. Schematically, a concept can be thought of as a frame-like structure of the following sort:

CONCEPT:

A kind of:

Subkinds:

A part of:

Parts:

Synonyms:

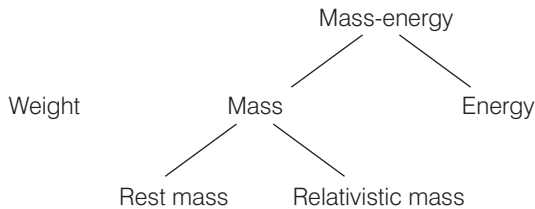
Antonyms:

Rules:

Instances:" (Thagard 1992, 29-30).

Wanneer nu gekeken wordt naar de concepten 'gewicht', 'massa' en 'energie' in de theorie van Newton moet geconcludeerd worden dat deze *niet* met elkaar verbonden zijn door middel van 'Subkind'- of 'A kind of'-relaties. Het concept 'massa' is een absolute notie, 'the quantity of matter'.

Deze situatie is geheel anders wanneer er gekeken wordt naar de relativiteitstheorie van Einstein. De concepten 'massa' en 'energie' zijn in deze theorie zeer nauw met elkaar verbonden, hetgeen tot uitdrukking komt in de beroemde vergelijking $E=MC^2$. Beide concepten zijn 'subkinds' van het concept 'massa-energie'. Hetzelfde kan gezegd worden van de concepten 'rest mass' en 'relativistic mass'. Deze concepten zijn zeer nauw aan elkaar gerelateerd door middel van het concept 'massa'. Zowel het concept 'rest mass' als het concept 'relativistic mass' is een 'subkind' van het concept 'mass'. De volgende afbeelding verheldert nog eens de relatie tussen de diverse concepten in de relativiteitstheorie:



(Thagard 1992, 211).

In de theorie van Einstein zijn de concepten 'rest mass' (de massa van een entiteit wanneer deze geen snelheid heeft ten opzichte van de waarnemer) en 'relativistic mass' (de massa van een entiteit dat zich met een zekere snelheid beweegt ten opzichte

van een waarnemer) van elkaar onderscheiden. Deze concepten maken het mogelijk om beschrijvingen te geven van entiteiten met extreem hoge snelheden (lichtsnelheid). In de theorie van Newton, waarin alleen lage snelheden aan de orde zijn, vallen de 'rest mass' en de 'relativistic mass' op virtuele wijze samen. Het concept 'massa' in de theorie van Newton is een voorbeeld van een idealisatie van de meer gedifferentieerde concepten 'rest mass' en 'relativistic mass' in de relativiteitstheorie van Einstein.

Een concrete en succesvolle type-3-symmetriebreking:

De *concretisering of idealisatie* van een theorie brengt een eigen type symmetriebreking met zich mee, het derde type symmetriebreking. Zoals al eerder gesteld, een geïdealiseerde theorie (TI) is *logisch equivalent* met de combinatie van de geconcretiseerde theorie (TC) en een idealiserende propositie P. Formeel uitgedrukt:

Type-3-symmetriebreking:

$TI =_{LE} TC \& P$ ('=_{LE}' betekent logisch equivalent).

Toegepast op de relatie tussen Newtons theorie en Einsteins relativiteitstheorie betekent dit dat:

$TN =_{LE} TEin \& P$.^{42 43}

Het toevoegen dan wel elimineren van propositie P staat niet garant voor een succesvolle type-3-symmetriebreking. Immers, het is mogelijk dat de originele theorie van Einstein (TEin) een empirisch equivalent kent (TEin^o) voor het domein van

⁴² Wat betreft de inhoud van P kan opgemerkt worden dat: "Although Maxwell's equations survive in relativity theory, the nineteenth-century assumptions about the role of the ether in the equation's application were abandoned as superfluous. Einstein's revolutions thus involved rejection of at least the following beliefs (Einstein 1952, 1961), the first three of which are eliminated by the special theory alone: 1. Time and space are absolute. 2. There is a luminiferous ether. 3. Objects have no maximum velocity. 4. Euclidean geometry adequately describes space. 5. There are instantaneous gravitational effects. 6. Lights travels through space in straight lines." (Thagard 1992, 209).

⁴³ Volledigheidshalve, om TN als een idealisatie van TEin te kunnen beschouwen, dient de constante c naar oneindig te lopen. Er is een soort generieke theorie van Einstein voor elke willekeurige constante c (= TEin^o). De theorie TEin wordt uit TEin^o verkregen door de constante c te stellen op $2,997925 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$.

gravitationele fenomenen (DEin) en dat deze empirisch equivalente theorie (TEin') een concretisering is van een empirisch equivalent van Newtons theorie (TN'). Formeler weergegeven, er is géén sprake van een succesvolle type-3-symmetriebreking als geldt dat:

$TEin \approx_{EE-DEin} TEin'$ en als TEin' een concretisering is van TN'.

Deze bewering is abstracter en algemener te formuleren nl, er is géén sprake van een succesvolle type-3-symmetriebreking als geldt dat:

$TC \approx_{EE-D} TC'$ en als TC' een concretisering is van TI'.

Maar er kan terdege ook wèl sprake zijn van een succesvolle type-3-symmetriebreking. Als de originele theorie van Einstein (TEin) meer empirisch adequaat is (voor het domein van *alle* gravitationele fenomenen DG) vergeleken met de empirisch equivalente theorie (voor DEin) van Einsteins theorie (TEin'), dan is de overgang van Newtons theorie naar Einsteins theorie een succesvolle type-3-symmetriebreking vergeleken met de overgang van de empirisch equivalenten van Newtons en Einsteins theorie.⁴⁴ Formeler geformuleerd,

Als TEin meer EA is (voor DG) vergeleken met TEin' (voor DG), dan is $\langle TN, DG \rangle \rightarrow \langle TEin, DG \rangle$ een succesvolle type-3-symmetriebreking vergeleken met $\langle TN', DG \rangle \rightarrow \langle TEin', DG \rangle$.

Ook deze bewering is abstracter en algemener als volgt weer te geven:

Als TC meer EA is (voor D) vergeleken met TC' (voor D) dan is $\langle TI, D \rangle \rightarrow \langle TC, D \rangle$ een succesvolle type-3-symmetriebreking vergeleken met $\langle TI', D \rangle \rightarrow \langle TC', D \rangle$.

⁴⁴ Domein $DEin \subset DG$ en domein $DEin'$ (behorend bij TEin') $\subset DG$. In woorden, het domein van Einsteins theorie is een echte deelverzameling van het domein van alle gravitationele fenomenen en voor het domein van Einsteins theorie' geldt hetzelfde. Maar $(DG - DEin) < (DG - DEin')$. In woorden, het domein van alle gravitationele fenomenen minus het domein van Einsteins theorie is kleiner dan het domein van alle gravitationele fenomenen minus het domein van Einsteins theorie'. Mogelijk laat de overkoepelende theorie van de quantummechanica en de relativiteitstheorie ruimte over voor gravitationele fenomenen die niet in DEin en in DEin' voorkomen. Zover als nu bekend geldt: $DEin' = DEin$.

Samenvattend, wanneer de empirische equivalentie tussen twee (of meerdere) theorieën op succesvolle wijze wordt opgeheven zijn er drie mogelijke typen symmetriebrekingen in het spel:

- 1) Type-1-symmetriebreking: 'theory strengthening'. Formeel genoteerd: $TP1 = T1 \& P$ en $TP2 = T2 \& P$.
- 2) Type-2-symmetriebreking: 'domain extension'. Een uitbreiding van domein D naar domein D^* .
- 3) Type-3-symmetriebreking: 'theory concretization'. Formeel genoteerd: $TI =_{LE} TC \& P$.⁴⁵

Voor het concrete voorbeeld van de overgang van Newtons theorie naar Einsteins relativiteitstheorie komt deze samenvatting op het volgende neer:

- 1) Type-1-symmetriebreking: 'theory strengthening'. Formeel genoteerd: $TEin =_{def} TN \& P$ en $TEin' =_{def} TN' \& P$.
- 2) Type-2-symmetriebreking: 'domain extension'. Een uitbreiding van domein DN naar domein $DEin$.
- 3) Type-3-symmetriebreking: 'theory concretization'. Formeel genoteerd: $TN =_{LE} TEin \& P$.

(De 3 typen symmetriebrekingen die hier onderscheiden zijn worden in paragraaf 3.2.3 en 5.7.3 daadwerkelijk gebruikt.)

Samenvatting

In dit hoofdstuk zijn vier voorbeelden behandeld waarin door symmetriebrekingen nieuwe eigenschappen en entiteiten emergeren.

Zo emergeerde er in het eerste voorbeeld een magnetisch veld rond een ijzeren object. De symmetriebreking die hiermee gepaard ging, bestond erin dat de willekeur

⁴⁵ Dit lijstje van drie symmetriebrekingen is eventueel uit te breiden met een type symmetriebreking waarbij niet een theorie wordt gerealiseerd, maar het domein wordt geconcretiseerd onder het behoud van dezelfde theorie. Dit zou men een type-4-symmetriebreking kunnen noemen. Wanneer deze type-4-symmetriebreking eenmaal gegeven is, is het ook mogelijk om een combinatie te maken van type-3-symmetriebrekingen en type-4-symmetriebrekingen. (Overeenkomstig de wijze waarop er een combinatie gegeven is van type-1-symmetriebrekingen en type-2-symmetriebrekingen.) Aangezien deze twee nieuwe typen van symmetriebrekingen, gezien de doelstellingen van dit hoofdstuk, geen extra bijdrage leveren, wordt hier niet verder bij stilgestaan.

van de oriëntatie van groepen atomen (domeinen) overging in een onwillekeurige oriëntatie. Deze onwillekeurige oriëntatie kan in twee richtingen plaatsvinden en bepaalt aan welke zijde van een gemagnetiseerd object de noord- en zuidpool terechtkomen. De magnetisatie van een object is een eigenschap die meer is dan de som van de oriëntatie van de afzonderlijke (groepen) atomen. Hoewel de atomen en domeinen op zich als kleine magneetjes kunnen worden opgevat, krijgt het gehele object een noord- en een zuidpool door de onwillekeurige oriëntatie van alle domeinen tezamen. De emergentie van een nieuwe eigenschap die met dit voorbeeld tot uitdrukking wordt gebracht betreft anorganisch materiaal en hoort dus thuis in wereld 1.

Het tweede voorbeeld dat in dit hoofdstuk is besproken betrof de regeneratie en voortplanting bij de poliep hydra. Het emergeren van nieuwe poliepen laat zien hoe de betrokken symmetriebrekingen beschreven kunnen worden in termen van de groepentheorie. In dit voorbeeld wordt duidelijk zichtbaar hoe de relatie ligt tussen kwantificeerbare veranderingen en de ontologische uitbreiding die kwalitatief van aard is. Het emergeren van een poliep laat zien dat de introductie van een nieuw organisatieniveau meer inhoudt dan de optelling van alle (gedifferentieerde) cellen op het onderliggende microniveau. Omdat in dit voorbeeld de symmetriebrekingen zich voltrekken in organisch weefsel moet ook de emergentie van hydra's tot wereld 1 gerekend worden. Verder is bij de bespreking van dit voorbeeld gebleken dat er symmetriebrekingen kunnen optreden zonder dat er sprake is van emergentie.

Het derde voorbeeld dat in dit hoofdstuk is besproken, heeft direct met de (menselijke) waarneming te maken en moet dus in wereld 2 geplaatst worden. De nieuwe eigenschap die hier aan de orde kwam betrof de emergentie van de 'diepte-ervaring'. Het emergeren van deze ervaring moest toegeschreven worden aan een aantal gekleurde gebieden op papier die meerdere even betrouwbare interpretaties toelieten. De inktvlekken op het tweedimensionale papier hebben als inktvlekken een symmetrische relatie tot elkaar. Op het moment dat bepaalde vlekken als 'voorgond' worden geïnterpreteerd en de overgebleven inktvlekken als 'achtergrond' vindt er een symmetriebreking plaats. De emergerende 'diepte-ervaring' is in deze situatie niet te reduceren tot de samenstellende inktvlekken waaruit deze 'diepte-ervaring' is opgebouwd. De illusoire objecten die de waarnemer bij reversibele figuren meent te zien, bieden informatie over het functioneren van het (menselijk) kenapparaat en dienen als zodanig tot het onderzoeksterrein van de psychologie gerekend te worden.

Het vierde voorbeeld is afkomstig uit de filosofie en kan dus als een overtuigende casestudie worden gezien van een symmetriebreking in wereld 3. De onderdeterminatie van theorieën staat garant voor de mogelijkheid dat ten aanzien van elke gegeven theorie er een empirisch equivalent ontwikkeld kan worden. De onderdeterminatie van theorieën door de data staat een realistische interpretatie van theorieën in de weg.

Immers, twee theorieën die qua beschrijvende waarde niet voor elkaar onderdoen maar toch van een verschillende ontologie uitgaan, staan op gespannen voet met elkaar. Er kan namelijk geen keuze gemaakt worden tussen de theorieën wanneer het gaat om een representatie van de werkelijkheid en de daarbij behorende ontologie. De symmetrische relatie tussen twee theorieën die empirisch equivalent zijn, kan worden opgeheven door de vereniging van één van deze theorieën met een kennisbestanddeel of propositie die 'geabstraheerd' wordt uit een omvattende context C. De symmetriebrekingen die hiermee gepaard gaan, doen een meer ware beschrijving emergeren van een gegeven onderzoeksdomein D die deel uitmaakt van context C.

Conclusie

Duidelijk is geworden dat in de drie werelden van Popper symmetriebrekingen voorkomen die mogelijk maar niet noodzakelijk gepaard gaan met de emergentie van nieuwe eigenschappen en/of entiteiten. Het fenomeen emergentie lijkt daarentegen wel feitelijk steeds met symmetriebrekingen samen te gaan. Deze laatste bewering kan alleen door middel van veel voorbeelden op inductieve wijze worden ondersteund. Voorbeelden die allen op te vatten zijn als instantiaties overeenkomstig de gegeneraliseerde definitie van symmetrieën en symmetriebrekingen.

Het tot dusver bereikte resultaat houdt in dat:

Hoofdstuk 1:

- a) met de gereviseerde driewereldentheorie van Veening een conceptueel schema beschikbaar is dat het mogelijk maakt entiteiten binnen een wereld te differentiëren en een onderscheid te maken aangaande relaties *binnen* een wereld en relaties *tussen* werelden.
- b) met het werk van Damasio een neurologisch onderbouwd raamwerk binnen bereik is dat een basis biedt voor de verdediging van een gelaagde ontologie en de driewereldentheorie met een empirische grondslag uit kan rusten. De “zelden” uit het werk van Damasio illustreren de kracht van een triadistische metafysica.
- c) door middel van de introductie van symmetrieën en symmetriebrekingen conceptueel instrumentarium aangeleverd is om de emergentie en evolutie van de drie werelden op een nauwkeurige manier uit te werken.

Hoofdstuk 2:

In dit hoofdstuk zijn vier voorbeelden van symmetriebrekingen besproken. Er is iets zichtbaar geworden ten aanzien van de structuur van enkele concrete fenomenen uit de drie werelden. Gebleken is dat de symmetrische structuren van deze specifieke fenomenen de potentie in zich hebben om via symmetriebrekingen te komen tot een a-symmetrie.

In het komende hoofdstuk is het object van studie de totale structuur van iedere wereld afzonderlijk. De structuren van de werelden 1,2 en 3 worden chronologisch behandeld. Zoals al eerder is aangegeven is het doel van deze studie te komen tot theorievorming die van belang is voor hoofdstuk 4. In hoofdstuk 4 worden namelijk vier nieuwe vormen van emergentie gepresenteerd. Deze vormen van emergentie maken het mogelijk om de emergentie van de drie werelden op precieze wijze te beschrijven. De precieze beschrijving van de relaties tussen de drie werelden vormt de kern van het proefschrift. Beoogd wordt om een metafysica tot stand te brengen waarbij een substantiëmonisme gecombineerd wordt met een triadistische ontologie.

