STRUCTUREN IN DE FILOSOFIE VAN DE WETENSCHAP

Ruud J. P. Vermeulen
(311023)

Masterthesis Filosofie

Instelling:	Erasmus Universiteit Rotterdam
Leerstoelgroep:	Theoretische Filosofie
Begeleider:	Prof. Dr. F.A. Muller
Adviseur:	Dr. S van Tuinen
Datum:	20 - 07 - 2016
Aantal woorden:	27038 (tekst incl. voetnoten)

Inhoudsopgave

INLEIDING

> If something is in me which can be called religious then it is the unbounded admiration for the structure of the world so far as our science can reveal it.
> [Albert Einstein, 1954, p. 43]

Einstein heeft het hier over de *structuur* van de wereld. Maar wat zijn structuren in het algemeen? Onder een structuur kan men verstaan een verzameling met relaties tussen de elementen van die verzameling. Een *stenen-huis* is een voorbeeld: een verzameling van stenen en velerlei ruimtelijke relaties tussen de stenen, zodanig dat zij een huis vormen. Een *groep* uit de wiskunde is een ander voorbeeld: dit is het *verzamelingstheoretische* structuurbegrip, waarin tussen de elementen relaties kunnen bestaan. Terug naar het citaat van Einstein; onderstaande twee filosofische vragen hebben hier direct mee te maken. Over het beantwoorden van de vragen gaat mijn thesis. De reden is dat deze vragen mij al een aantal jaren bezig houden. Een masterthesis erover schrijven is een mooie gelegenheid om op zoek te gaan naar de antwoorden.

I. Wat is een wetenschappelijke theorie (T)?
II. Wat vertelt een theorie ons over de werkelijkheid, wanneer we onderstellen dat die theorie *waar* is?

De lezer moet zich goed realiseren dat de kennis die we menen te hebben over de werkelijkheid (vraag II) het fundament vormt van het karakter van een wetenschappelijke theorie (vraag I). Een voorbeeld zal het verband tussen de twee vragen verduidelijken: wanneer we de valtijd *t* en de hoogte *h* van bv. een pen meten, dan kunnen we ontdekken dat de hoogte *h* van de pen kwadratisch afhankelijk is van de valtijd *t*. Dit verband tussen *h* en *t* (de kennis die we hebben over de hoogte in relatie met de tijd) staat bekend als *de valwet van Galilei* en past binnen de wetenschappelijke theorie die Klassieke Mechanica wordt genoemd.

Eerst, ten aanzien van **vraag I**, een kort algemeen antwoord: Filosofen proberen een theorie op te stellen over wetenschappelijke theorieën. Deze filosofische theorie kan gebruikt worden om vragen die de wetenschappelijke theorieën oproepen te verduidelijken en te beantwoorden. Bijvoorbeeld in de wetten van Newton vormen de grootheden massa, snelheid en de afgelegde afstand van een voorwerp de basis; zij maken deel uit van de structuur van de eerder genoemde Klassieke Mechanica. In mijn thesis kom ik hier veelvuldig op terug. Voorlopig ga ik er vanuit dat er drie visies zijn voor zo’n karakteriserende theorie, met elk een andere structuur.

I.1. De syntactische visie
I.2. De semantische visie
I.3. Een synthese van I.1 & I.2: de structuur-visie

U mist in het bovenstaande lijstje misschien de *paradigma -visie* van Kuhn, Feyerabend e. a.. Bij deze opvatting van theorieën ligt de nadruk op het ontwikkelen van theorieën. Deze filosofen houden zich voornamelijk bezig met de wetenschappelijke onderzoeksprogramma’s. De drie visies die ik bespreek gaan over het *karakter* van wetenschappelijke theorieën, en niet zozeer over de ontwikkeling van de wetenschap. De visies representeren de historische volgorde; het op poten zetten van de *syntactische visie* geschiedt eerder dan de ontwikkeling van de *semantische visie*. Laatst genoemde bouwt a.h.w. voort op de eerste, onder het motto: behoud het goede, verwerp het zwakke. Ik zal nu iedere visie kort toelichten.

Ad I.1: Voor de ontwikkeling van een theorie over een wetenschappelijke theorie T werd ruim honderd jaar geleden, door filosofen, een beroep gedaan op de wiskundige logica om dit ideaal te verwezenlijken. Dat zij de logica gingen gebruiken om een deugdelijk beschrijving te geven van hun theorie is geen toeval; logica bleek namelijk een prima instrument om de structuur van bepaalde wiskundige theorieën te verduidelijken, bv. de wetten uit de rekenkunde zijn af te leiden uit de logica (het reduceren van wiskunde tot logica wordt wel *logicisme* genoemd). Nog wat preciezer: de *syntactische visie* beschouwt een theorie als een verzameling zinnen X in een *formele taal*, d.i. een taal waarin de vorm (*syntaxis*) exact vastligt. De verzameling X bestaat uit zinnen die de waarnemingen beschrijven. Merk op dat de betekenis (*semantiek*) van een formele taal niet vast ligt: ieder *model* (in de logische betekenis, waarin de verzameling X is opgenomen) van een formele taal, geeft een andere betekenis aan die taal. Met formele talen en *model-theorie* probeert men de structuur van een theorie te achterhalen.
⇒**Hoofdstuk 1**, hierin worden een aantal filosofen uit deze *logische traditie* behandeld, te weten: Russell, Carnap, Hempel en Ramsey. In dit hoofdstuk zal veel aandacht uitgaan naar de *Ramsey-zin*, die in de theorieën van Carnap, Maxwell en Worrall een grote rol speelt. De kritiek van Newman op de Ramsey-zin wordt ook besproken.

Ad I.2: Een tweede kandidaat voor een 'theorie over theorieën' is de *semantische visie*. Kort door de bocht: volgens deze visie is een theorie een collectie van modellen. Een model moet hier opgevat worden als een wiskundige structuur. De structuur kan zowel afhankelijk als onafhankelijk van taal zijn, en bevat logische begrippen en wiskundige beschrijvingen. Voorts zijn de modellen meer gericht op de werkelijkheid in vergelijking met de syntactische visie. Een voorbeeld: het planetenmodel als een model voor de atoomtheorie (wordt toegelicht).
⇒**Hoofdstuk 2,** vormt het podium voor Suppes, Giere, Beth en Van Fraassen; alle vier de filosofen hebben de semantische opvatting helpen ontwikkelen. Ook hier zal ik enkele bezwaren tegen deze zienswijze bespreken, o.a. van Demopoulos en Frigg.

I.3: Een interessante opvatting die ook aan de orde komt is die van Muller; hij ontwikkelde een soort synthese van de syntactische- en semantische visie. Een belangrijk punt in zijn opvatting (de *structuur-visie*) is het opnemen van allerlei beschrijvingen van theorieën betreffende objecten, processen en structuren in zijn visie. Hiermee komen, in tegenstelling tot de semantische visie, de abstracte variabelen tot leven, en kunnen we de echte wereld zien en proberen te begrijpen.
⇒**Hoofdstuk 3,** hierin zal uitgebreid op de structuur-visie worden in gegaan.

Vraag II ('Wat vertelt een theorie ons over de werkelijkheid?') ligt op het vlak van de *epistemologie*, en moet los gezien worden van de eerste vraag. Hieronder staan drie mogelijke antwoorden. Realiseert u zich goed dat de antwoorden als een rode draad door mijn verhaal lopen. Bij de bespreking van vraag I zagen we een vaste chronologie, die is hier minder strak. Al moet ik zeggen dat tegenwoordig steeds meer de nadruk wordt gelegd op antwoord II.3.

II.1. Het empirisme
II.2. Het realisme
II.3 Het structuralisme

Ik zal nu de antwoorden beknopt toelichten.

Ad II.1: In het *empirisme* gaat men ervan uit dat alle kennis van de werkelijkheid ontstaat uit wat zintuigelijk toegangkelijk voor ons is; onze waarneming is onze *kennisbron*. De eerder beschreven valwet van Galilei geldt als een voorbeeld. Een empirist beweert dat theoretische zinnen omgezet moeten kunnen worden in waarneembare zinnen. Wanneer dat niet mogelijk is moeten de theoretische uitdrukkingen niet als kennis gezien worden. De eerder genoemde Carnap, Hempel en Ramsey zijn vertegenwoordigers van deze stroming, maar ook de semanticus Van Fraassen.

Ad II.2: In het *realisme* moeten de beweerzinnen uit de theorie letterlijk genomen worden; de zinnen zijn waar of onwaar. De termen in de zinnen verwijzen naar entiteiten (objecten) in de wereld, en de relaties tussen de entiteiten hebben een structuur. Neem bv. een elektron; onze opvattingen over het karakter van een elektron zijn in de loop van de tijd grondig gewijzigd, maar een volledig beeld van een elektron hebben we niet. Russell, Psillos en Maxwell staan achter het realisme. Ook de latere Carnap neemt een *realistisch* standpunt in.

Ad II.3: Het *structuralisme* moet als een radicale opvatting van het realisme gezien worden. De natuur *is* enkel structuur. We moeten ons geen voorstelling maken van de aard van de objecten, maar de waarheid van een theorie moet gezocht worden in de structuur van de relaties tussen de entiteiten. De onwaarneembare entiteiten liggen niet buiten onze kennis, maar zijn onderdeel van de structuur. French, Ladyman, Worrall en Muller kunnen tot het structuralisme gerekend worden.

Voor de duidelijkheid: de 6 antwoorden (3 om 3) geven dus in principe 9 posities. De antwoorden uit de eerst groep (op vraag I) zijn in principe *descriptief* van aard, terwijl de antwoorden uit groep 2 (die op vraag II) in wezen een *normatieve* signatuur hebben. We kunnen op deze manier, bv. het empirisme van Carnap (ad II.1) aan I.1 hangen; Van Fraassen valt onder I.2 en II.1 enz. In elke paragraaf zal ik aangeven met welke positie we te maken hebben. Verder is belangrijk dat ‘structuur’ gebruikt wordt in de zin van: ‘Hoe zit de theorie of de werkelijkheid in elkaar?’; het ‘structuralisme’ reserveer ik specifiek in de epistemologische zin [ad II.3].

Ik sluit mijn scriptie af met een korte terugblik. De bedoeling hiervan is om iedere visie nogmaals kort te bespreken en om de lijn in mijn betoog nogmaals te benadrukken. Het terugkijken resulteert in een voorkeur voor een visie om een wetenschappelijke theorie te beschrijven. Ook kom ik met een idee om een verband te leggen tussen de Ramsey-zin en het structuralisme.

HOOFDSTUK 1
Taalafhankelijke structuren

In dit hoofdstuk laat ik de syntactici aan het woord, alsmede een aantal epistemologische filosofen die de syntactische visie hebben beïnvloed. In ieder geval ligt de nadruk op de *formeel-linguistische structuren* van theorieën.

1.1 Het structuur-realisme van Russell

Zoals ik in de Inleiding heb gezegd vormt onze kennis die we denken te hebben over de wereld (vraag II) het fundament van een theorie over een wetenschappelijke theorie (vraag I). Daarom begin ik mijn onderzoek met het kennistheoretisch realisme (antwoord ad II.2) van de gigant Bertrand Russell (1872-1970). De wiskundige/filosoof Russell is in het begin van de 20e eeuw van onschatbare waarde geweest bij de ontwikkeling van logica in de filosofie (m.n. de syntactische visie), en als men goed luistert, dan is zijn stem vandaag nog steeds te horen [bv.§ 1.5, Worrall]. Zijn bijdrage kan het best omschreven worden als *structuur-realisme*, en is te plaatsen binnen het *neokantianisme*. Van Kant weten we dat onze kennis van de werkelijkheid tot stand komt doordat ons verstand structuur oplegt aan de objecten in de wereld. De noumena achter de *fenomenen* (objecten, processen, entiteiten,…) buiten ons, blijft voor altijd onbekend. Onze kennis van de werkelijkheid is dus in wezen structureel. Zijn intuïties noemt Kant *transcendentale logica*, waarin geen spoortje wiskundige logica valt te ontdekken. Dat ging veranderen met *The Analysis of Matter* [Russell, 1927]. Zoals gezegd staat Russell op de schouders van de reus Kant, alleen buigt hij Kant's intuïties, omtrent de vraag waaruit onze kennis van de buitenwereld bestaat, om in formele logica. Hij zegt:

> '.. the answer is structure; and structure is what can be expressed by mathematical logic' [Russell, 1927, 254].

Het moge voor de lezer duidelijk zijn dat we hier antwoord ad II.2 zien; het realisme. Het is de hoogste tijd om het structuur-realisme van hem verder uit te pakken.

Het werktuig van Russell, de *logisch-wiskundige structuur*, kan afgeleid worden uit de structuur van de waargenomen objecten (zie ook het citaat hierboven), terwijl het karakter van de objecten zelf onbegrepen blijft. De verklarende kennis van hoe de wereld in elkaar zit kan dus gekoppeld worden aan de structuur van onze *sense data* (zintuigelijke indrukken); deze laatste structuur is bekende kennis. 'Koppelen' is niet de juiste, precieze, uitdrukking. De structurele gelijkheid tussen de wereld (S') en de sense data (S) noemen we *isomorfie* ($\simeq$). Structuurgelijkheid, of isomorfie, tussen S en S' betekent dat er een één op één relatie (een bijectieve relatie) bestaat tussen het *domein* (met variabelen x_1, x_2, ..) van S naar het domein van S', m.a.w. bij isomorfie geldt dat de structuur die op de domeinen ligt behouden blijft. Dit betekent dat als er een relatie R werkt op het domein van S, er een correspondentie relatie R' op S' werkt. Bij isomorfie zijn de logische eigenschappen van de relaties dus identiek. Kort en goed: als we kennis hebben van relaties in de ene structuur (S), dan hebben we ook kennis van de andere structuur (S'), die formeel beschreven is. Of met een logische beweerzin geschreven:

Als $\text{kennis}_{\text{bekend}}$ (sense data S, $\text{relaties}_S\ R$) en $R \simeq R'$, dan $\text{kennis}_{\text{omschreven}}$ (S', R') (1)

Russell's isomorfievoorstel heeft een drietal uitgangspunten, welke nodig zijn om zijn afleidingsverhaal (kennis$_{\text{bekend}}$ $\rightarrow$ kennis$_{\text{omschreven}}$) te rechtvaardigen:

1. Objecten zijn de oorzaak van onze waarnemingen; de *causale-theorie* van waarneming: objecten in *S'* veroorzaken de sense data in *S*.
2. Verschillende fysische prikkels veroorzaken verschillende sense data. Dit punt is eerder naar voren gebracht door o.a. Helmholtz en Hertz. Deze zgn. *Bildtheorie* linkt kennis van de werkelijkheid met plaatjes van die werkelijkheid.
3. Het principe van *temporele-causaliteit*. Bij dit principe geldt dat de oorzaak in de tijd altijd vooraf gaat aan het gevolg; is welhaast vanzelfsprekend bij causale relaties.

Het is al een paar keer gezegd dat de isomorfie tussen de waargenomen wereld en de kennis van de werkelijkheid, niet betekent dat we kennis kunnen hebben van de werkelijkheid *an sich*. Russell heeft daar geen moeite mee, en stelt dat in de natuurwetenschappen kennis niet afhangt van de werkelijke eigenschappen van de fenomenen, maar van de structuur van de werkelijkheid [Russell,1927, 227]. Hij geeft een voorbeeld: stel dat je een aantal tonen hoort met verschillende toonhoogten. De structuur van de *stimuli* (de wereld), die ons de noten laat horen, moet zo zijn dat zij ook een aantal vormen. Het karakter (de structuur) van dit aantal heeft causale overeenkomst met de toonhoogten [Russell, 1927, 227]. Het voorbeeld illustreert goed het realisme van Russell; zijn theorie moet je letterlijk nemen [ad II.2, p. 5], alleen de structuren tellen, en niet de karakters van de objecten. Er is echter een probleem, daarover gaat het slot van deze sectie.

Maxwell Newman (1897- 1984) heeft aangetoond dat er in Russell's systeem een *triviale* fout zit. Zijn redenatie gaat als volgt: stel dat de structuur van de waargenomen werkelijkheid (de externe wereld) *S* is. Bovendien is de kennis van structuur *S* het enige wat we hebben. We kunnen zeggen dat we vertrouwd zijn met relatie *R* in *S*. Zoals we weten [zie beweerzin (1)] bestaat er tussen *S* en *S'* (de werkelijkheid) een bijectieve afbeelding:

$$f : S \rightarrow S' \qquad (2)$$

Wanneer de verzamelingen *S* en *S'* hetzelfde aantal elementen (dezelfde *kardinaliteit*) hebben bestaat de bovenstaande bijectie altijd. Vervolgens definiëren we op *S'* de relatie (volgt ook uit (1)):

$$f(x_1)R'\,f(x_2) \leftrightarrow x_1 R x_2 \qquad (3)$$

En voor eigenschappen:

$$F'(f(x)) \leftrightarrow F(x) \qquad (4)$$

Newman legt daarna de vinger op de wond: iedere collectie van objecten kan de structuur van *S* aannemen. De enige voorwaarde is dat de verzamelingen *S* en *S'* een gelijk aantal dingen bevatten [Newman, 1928]. Russell's structureel-realisme is *waar,* als de kardinaliteit van de structuren dezelfde is. De kardinaalgetallen moeten gelijk zijn, opdat er isomorfie bestaat tussen 'perceptie' en het 'logisch-wiskundig bouwwerk'. Verder dan kardinaliteit gaat de theorie niet, dus van een beschrijvende structuur van de werkelijkheid is absoluut geen sprake. Ik kan Newman's bezwaar verduidelijken met een voorbeeld. Stel je weet dat 4 voorwerpen de structuur hebben van een vierkant, maar dat is ook het enige dat je weet. Het vierkant kan dus bestaan uit muntjes, moleculen, studenten of.. noem maar op. Andersom: als we uitgaan van 4 moleculen, dan is iedere structuur mogelijk; ja, ook een vierkant. Newman's constatering is feitelijk desastreus voor Russell. Zijn structuur-realisme in deze vorm, gebaseerd op kennis d.m.v. sense data, heeft Russell dan ook nooit meer verdedigd. Het antwoord op vraag II is op een teleurstelling uitgelopen. Overigens komt Newman's weerlegging nog terug in een ander jasje; zie hiervoor het stuk over Maxwell [§ 1.3].

1.2 De structuurvisie van Carnap en Hempel

De *Logisch-Positivisten* (ze worden ook wel de *logisch-empiristen* genoemd) Rudolf Carnap (1891-1970) en Carl Gustav Hempel (1905-1997) bouwden voort op de ideeën van Russell. Hun uitgangspunt is ook de logica waarmee ze een formele taal construeren, maar Carnap en Hempel hebben in vergelijking met Russell verschillende uitgangspunten. Ging Russell nog uit van een realistische visie, Carnap en Hempel gaan uit van het empirisme [ad II.1, p. 5]. Verder is hun project: een logische beschrijving van wetenschappelijke theorieën (T 's) geven (natuurlijk met een empiristische grondslag). Het is duidelijk dat hiermee de syntactische visie wordt bedoeld [ad I.1, p. 4].

Hoewel Carnap (en anderen) al vanaf de jaren 20 probeerden het wezen van wetenschappelijke theorieën bloot te leggen, komt pas in 1956 *The Methodological Character of Theoretical Concepts* uit, waarin hij zijn formeel-linguistische benadering van theorieën uiteenzet. De kern van deze visie is dat de fysische taal van een empirische theorie T o.a. bestaat uit *waarnemingstermen en -predicaten* V_O ('hout drijft op water') en *theoretischetermen en -predicaten* V_T [1] (Een aardig voorbeeld vind ik zelf: '85 % van de totale hoeveelheid materie in het universum bestaat uit donkere, niet waarneembare, materie'). De wetten in een theorie kunnen opgevat worden als een lijst van *theoretische postulaten T.* De lijst van postulaten moet eindig zijn, en bovendien moet de formele taal de hoeveelheid wiskunde in de wetenschappelijke theorie 'aankunnen'. Een centraal punt in Carnap's redenering is dat theoretische inhoud in een theorie niet getoetst kan worden in een empirische wetenschap. De 'feitelijke inhoud' van een wetenschappelijke theorie wordt dus geëxpliciteerd in de waarnemingstermen en –predicaten. Aan *T* moeten dan ook zgn. *correspondentieregels C* (*C - regels*) worden toegevoegd om de theoretischezinnen en de waarnemingszinnen met elkaar te verbinden.

Laten we in dit verband Carl Hempel niet vergeten. In 1958 verschijnt van zijn hand *The theoretician's dilemma: A study in the logic of theory construction*, waarin hij voordurend teruggrijpt op Carnap en de syntactische visie verder uitbouwt. Hempel komt hierin met een voorbeeld van een *C* - regel (spreektaal): het waarnemen van het afbuigen van een kompasnaald in de buurt van een elektrisch veld [Hempel, 1958, 59]. Uiteraard moet deze zin nog geformaliseerd worden om aan de verzameling *C* - regels te worden toegevoegd. Ten slotte is de formele theorie van een wetenschappelijke theorie T de conjunctie *TC*. Het komt er dus op neer dat V_T a.h.w. geëlimineerd moet worden, en dus alleen toetsbaar observatie 'materiaal' overblijft. Dit klinkt mooier dan het is, want eliminatie kan problemen opleveren.

Neem *Q* als een theoretisch predicaat, terwijl *C* en *E* waarnemingspredicaten vertegenwoordigen. Hiermee is een *operationele definitie* te maken [Hempel, 1958, 50]:

[1] Het verschil tussen waarnemings- en theoretische inhoud in een theorie is gradueel. We gaan hier niet verder op in. Dit punt wordt in § 2a besproken). Bij de Carnap uit de jaren 50 zijn waarnemingen: observaties zonder hulpmiddelen; door het ongewapende oog.

$$Q(x) \leftrightarrow (C(x) \rightarrow E(x)) \tag{5}$$

De uitdrukking elimineert de theoretische expressie $Q(x)$ categorisch. Een voorbeeld ter verduidelijking:

☼[2] 'stof x is oplosbaar (= $Q(x)$), desda (als x in water (= $C(x)$), dan verdwijnt x (= $E(x)$))'. Klinkt aannemelijk? Neen, toch niet. Wanneer x nooit in water wordt gedaan, dan kan $Q(x)$ toch waar zijn, omdat antecedent $C(x)$ onwaar is, en dan is $C(x) \rightarrow E(x)$ altijd waar. Ja, zelfs als we voor x een gouden ring nemen klopt de beweerzin nog.

Carnap zoekt de oplossing van dit probleem in *conditionele eliminatie*, en is gebaseerd op een *partiële interpretatie* van Q. We schrijven de *bilaterale reductiezin* [Hempel, 1958, 51]:

$$C(x) \rightarrow (Q(x) \leftrightarrow E(x)) \tag{6}$$

Het verschil met de operationele definitie (5) is dat met x een oplosbare stof bedoeld wordt, bv. zout. De reductiezin wordt dan:
'als zout in water wordt gedaan ($C(x)$), dan (lost zout op ($Q(x)$) desda zout verdwijnt ($E(x)$))'.
In het algemeen kan eigenschap Q onder verschillende condities $C_{1,2,\ldots n}$ gerealiseerd worden, waarin 'n' eindig genomen moet worden. Stel eveneens dat $O(x)$ geschikt empirisch onderzoek is, waarmee we de volgende *empirische beweerzin* kunnen schrijven:

$$C(x) \rightarrow (O(x) \leftrightarrow E(x)) \tag{7}$$

Voor het waarnemingspredicaat $O(x)$ moeten we bv. denken aan 'je ziet dat zout opgaat in water'. We krijgen dan een verzameling van eliminaties die een nodig en voldoende waarnemingsconditie voor Q oplevert. Anders gezegd: we vervangen het theoretisch predicaat $Q(x)$ door het waarnemingspredicaat $O(x)$, m.a.w. $Q(x)$ is geëlimineerd. Ofwel, de inductief verkregen *eliminatieve hypothese*
[Hempel, 1958, 55]:

$$Q(x) \leftrightarrow O(x) \tag{8}$$

☼ Het formaliseren van de *2^e-wet van Newton* is een mooi voorbeeld waarin de problemen rondom het karakteriseren van een theorie op grond van waarnemingszinnen worden benadrukt [Horsten c.s., 2007, 34]. Deze wet maakt deel uit van Klassieke Mechanica van Newton. De Klassiek Mechanica is een wetenschappelijke theorie T. We zien hier hoe de machinerie van de structuur theorie *TC* (de syntactische visie) toegepast wordt op een deel van een wetenschappelijke theorie T. Overigens moet gezegd worden dat de Logisch-Positivisten zich nooit gewaagd hebben om hun visie in de praktijk te brengen. De formule van de 2^e-wet van Newton luidt (merk op dat fysische formules niet genummerd zijn!):

$$F = m \times a$$

► F is de kracht op voorwerp x, m is de massa van x en a de versnelling van x. We gaan deze vrij simpele formule formaliseren, en krijgen de complexe beweerzin:

[2] Het symbool ☼ gebruik ik voor belangrijke voorbeelden.

$\forall x \forall y[F(y,x) \leftrightarrow \exists z_1 \exists z_2 (p(y,z_1,z_2) \wedge m(z_1,x) \wedge a(z_2,x)]$
► 'de kracht *F* die op *x* werkt heeft grootte *y* desda *y* het product (*p*) is van twee getallen z_1 en z_2, waarbij z_1 en z_2 achtereenvolgens de massa *m* en de versnelling *a* van *x* zijn'.

De massa en de versnelling zijn theoretische termen. Zij moeten d.m.v. correspondentieregels gerelateerd worden aan de waarnemingstermen. Door een bilaterale reductiezin (6) te gebruiken kan dat voor de massa op de volgende manier:

$\forall x \forall n[weegschaal(x) \rightarrow (M(x,n) \leftrightarrow aanwijzing(n))]$, dus: *m* ↔ aanwijzing *n.*
► 'Als je een voorwerp *x* op een weegschaal plaatst, dan is de massa van het voorwerp gelijk aan *n* kg desda het display (of de naald) van de weegschaal het getal *n* weergeeft'.

Indien we meerdere meetgegevens hebben (massa's) kunnen ook de empirische beweerzinnen (7) gemaakt worden, maar voor de lijn in het verhaal is dat niet nodig (ik ga u niet belasten met allerlei details van de formalisatie).

Uiteraard moet er ook voor de versnelling een reductiezin opgesteld worden. Dit is een lastige kwestie. Ik geef alleen een richting aan waarop dit zou kunnen: De versnelling van een object is de snelheidsverandering per seconde. Wanneer we de snelheid *v* aflezen van een snelheidsmeter, en de tijd *t* van een stopwatch, dan is doormiddel van formule ($a = v : t$) de versnelling te berekenen. Al met al een moeilijke opgave, omdat de denkstappen ook nog geformaliseerd dienen te worden, maar in principe niet onmogelijk.

Goed, het formaliseren van $F = m \times a$ is mogelijk. En hetzelfde is denkbaar voor de andere wetten van Newton. Kunnen we nu stellen dat de syntactische visie een juiste manier is om wetenschappelijke theorieën te doorgronden? Neen, helaas niet. We kunnen de theoretische expressie Q in de bilaterale reductiezin nl. niet altijd in uitsluitend waarnemingstermen uitdrukken. Het volgende voorbeeld ter illustratie [Hempel, 1958, 63]. Neem de theoretische uitdrukking *Q*: *lengte*(*x*, *y*) = *r*, waarin de lengte tussen de punten *x* en *y* in een reëel getal *r* wordt uitgedrukt. Het probleem is dat er een oneindig aantal waarnemingen moet worden gedaan om *r* in een reëel getal uit te drukken, maar de verzameling waarnemingscondities $C_{1,2,\ldots n}$ is eindig. Concreet: *lengte*(*x*, *y*) = 2π m, dit is een exacte lengte. Aangezien 2π = 6,28318.., krijgen we bij de eerste waarneming 6 m, de tweede waarneming 20 cm tellen we hierbij op enz., dit geeft een oneindige gesommeerde rij waarnemingen. Een mooi voorbeeld van een tegenspraak.

Is daarmee de hoop op een filosofische theorie over een wetenschappelijke theorie opgegeven? Neen; Carnap en Hempel zijn vasthoudend, en vinden weer een oplossing voor de moeilijkheden die hun systeem bevat. We zien dit vaak bij een theorie; een theorie ontwikkelen gaat stapje voor stapje (hersenonderzoekers komen meer en meer te weten over de werking van ons brein). Enerzijds spitsen zich de problemen van de filosofen zich toe op de theoretische termen die niet betekenisvol zijn in de zin van waarnemingstermen, en 'verwijderd' dienen te worden. Anderzijds krijgen we, om de theoretische termen te elimineren, te maken met correspondentieregels. Maar die regels leiden vaak tot eindeloos toetsen van de theoretische termen. Het empirisme, dat Carnap en Hempel als basis zien van hun systeem (linguïstische structuur) moet misschien aangepast worden. Eerst zal ik Hempels idee om de problematiek te lijf te gaan bespreken; later haakt Carnap hierop aan.

1.2.1 De Ramsey-zin van theorie *TC*

Hempel gebruikt in de *The theoretician's dilemma* de theorie van de *Ramsey-zin*[3] R^{TC} om een uitweg te vinden in het probleem van de theoretische termen in een formele theorie [Hempel, 1958, 80]. We kunnen de formele theorie, waarvan we in de vorige paragraaf voorbeelden hebben besproken, schrijven als:

$$TC = TC(O_1,...,O_n;T_1...,T_m) \tag{9}$$

► O_i zijn de waarnemingstermen, en T_i zijn de theoretische termen.

Er van uitgaande dat *TC* een eindig aantal *axioma's* bevat, kunnen de axioma's in één beweerzin worden opgenomen door hun conjunctie te vormen. Het belangrijkste is dat de theoretische zinnen (predicaten) in verschillende variabelen u_i herschreven worden. We krijgen dan de Ramsey-zin voor theorie *TC*, waarin een *matrixstructuur*[4] is te herkennen:

$$R^{TC} = \exists u_1...\exists u_m TC(O_1,...,O_n;u_1,...,u_m) \tag{10}$$

Theorie *TC* (9) heeft de structuur van een *1^e-orde formele taal* (ofwel een elementaire taal, dus geen $\exists$ en $\forall$ *quantoren* die op eigenschappen van objecten slaan). De Ramsey-zin (10) is een *2^e-orde* constructie, waarin *wel* gequantificeerd kan worden over predicaten. De *predicaatsvariabelen* schrijven we als $u_1 \ldots u_m$. Alle toetsbare theoretische zinnen, met hun inhoud, kunnen op deze manier gereduceerd worden tot een verzameling variabelen $u_1 \ldots u_m$. De structuur bevat alleen eigenschappen en relaties die we kunnen verifiëren. Uiteindelijk krijgen we een gehele logische beschrijving van de theorie. Theoretische termen zijn een onderdeel van de logische structuur, doordat de termen nu logische uitdrukkingen zijn geworden, met een vaststaand aantal variabelen (*ariteit*). Het geheel: de waarnemingspredicaten, een geschikt logisch apparaat en de variabelen, vormen R^{TC}. Het verhaal van de partiële interpretatie van theoretisch termen is nu van de baan, dat komt omdat nu ieder theoretisch predicaat herplaatst wordt met een '2^e -orde predicaatvariabele'. Een voorbeeld van een theoretische term die herschreven kan worden in variabelen en relaties geeft Carnap in *The Methodological Character of Theoretical Concepts* [Carnap, 1966, 251]: Neem *temp* als symbool voor absolute temperatuur. Dan: 'De absolute temperatuur van een object *b* op tijdstip *t* is 500 (°C)', wordt: *temp*(*b*, *t*) = 500. Temperatuur is dus uitgedrukt in een relatie tussen een voorwerp, een tijd en een getal.

☼ Ik zal nu met een eenvoudig (!) voorbeeld aantonen hoe de Ramsey-zin toegepast kan worden om een wetenschappelijke theorie te beschrijven [naar Carnap, 1966, 251], of anders gezegd: om het karakter van zo'n theorie bloot te leggen.
Beschouw theorie *TC*. De theoretische zinnen *T* bevatten sommige wetten uit de *gastheorie*. Denk hierbij aan wetten voor de beweging van moleculen. Stel *mol* is de klasse van moleculen, waarin de snelheid (*v*) van de moleculen een rol speelt. Ook zijn er gaswetten waarin gasdruk (*p*), temperatuur (*temp*) en massa (*m*) voorkomen. We beschouwen de klasse

[3] Frank Ramsey (1903-1930) was wiskundige en filosoof. Ramsey gebruikte in *Theories* (één van de klassiekers op het gebied van 'de filosofie van de wetenschap', geschreven in 1929 en uitgegeven in 1931) voor het eerst de bijzondere logische expressies ('existential judgements'), die Hempel in 1958 *Ramsey-zinnen* doopte. Ik gebruik hier de moderne notatie van zo'n zin, omdat deze beknopter is dan die van Hempel.

[4] De waarnemingstermen *O* en de variabelen *u* worden in een schema gezet, met horizontaal de *O* termen en verticaal de *u* variabelen.

van waterstofmoleculen (*Hmol*), en schrijven de volgende zin *T* (de punten doen dienst als 'er is een relatie met'):

T: *mol ...Hmol....temp....m....p....v* (11)

De temperatuur en de druk kun je aflezen van meetapparatuur. Er kunnen op die manier correspondentieregels *C* voor deze theoretische termen opgesteld worden:

C: $temp...O_1, ...O_2, ...O_3 \quad p...O_4, ...O_m$ (12)

We voegen (11) en (12) samen; de gehele theorie *TC*, wordt nu geschreven als:

TC: $mol ....Hmol...temp....m....p....v$; $temp...O_1, ...O_2, ...O_3 \quad p...O_4, ...O_m$ (13)

Er moeten nog twee stappen gezet worden om hiervan een Ramsey-zin te maken. Zo is *mol* de variabele u_1, *Hmol* wordt u_2, en de correspondentieterm *temp* … schrijven we als u_3.Voor druk, massa en snelheid nemen we resp. u_4, u_5 en u_6. Dit geeft:

$u_1...u_2...u_3...u_4...u_5...u_6..; ...u_3...O_1...O_2...O_3 ...u_4...O_4...O_m$ (14)

Dit is een soort 'zin-formule'. Het opnemen van 6 existentiële quantoren voor de variabelen is de tweede stap om van de zin-formule een Ramsey-zin R^{TC} (10) te maken:

R^{TC}: $(\exists u_1)\ (\exists u_2)(\exists u_3)(\exists u_4)(\exists u_5)(\exists u_6)\ [u_1...u_2...u_3...u_4...u_5...u_6..; ...u_3...O_1...O_2...O_3 ...u_4...O_4...O_m]$ (15)

Tegenwoordig schrijven we (vergelijk (10)):

$$R^{TC} = \exists u_1 ... \exists u_6 TC(O_1,...,O_m; u_1,...,u_6) \quad (16)$$

De quantoren veronderstellen dat er ten minste één eigenschap van *u* bestaat, die de beschreven conditie in R^{TC} bevat. Carnap verwoordt het als volgt:

> '.., the Ramsey sentence has precisely the same explanatory and predictive power as the orginal system of postulates' [Carnap, 1966, 252].

Het voorbeeld toont aan dat het werken met de Ramsey-zin, weliswaar omslachtig is, maar toch makkelijker oogt dan het construeren van een formele theorie *TC* van een wetenschappelijke theorie T. Dat de Ramsey-zin gebruiksvriendelijker is dan het werken met waarnemingszinnen, correspondentieregels e.d. kan ik laten zien door *elektron* als theoretische term te kiezen. R^{TC} laat deze term verdwijnen, d.w.z. het elektron verdwijnt niet in de externe wereld, maar R^{TC} beweert, d.m.v. de existentiële quantoren, dat er 'iets' in de werkelijkheid bestaat dat aan alle eigenschappen voldoet om als elektron door het 'leven te gaan'. Er wordt niet meer gevraagd naar de realiteit van dat 'iets'. De vraag: 'Bestaan elektronen?' wordt vermeden, en wordt: 'Wat is de ware aard van het elektron?' [Carnap, 1966, 252]. De latere Carnap ('die van 1966') verdedigt hier dus een realistisch[5] standpunt. Wanneer we nog even antwoord ad II.2 er op na lezen [p. 5], dan zien we dat 'het letterlijk nemen van de theorie' op de Ramsey-zin R^{TC} van toepassing is. Dat komt omdat we

[5] Hempel heeft een *instrumentalistische visie* op de Ramsey-zin. Instrumentalisten gebruiken theorieën en begrippen alleen als'instrumenten'. Het correct weergeven van de realiteit is niet van belang. Het doel is het juist voorspellen en verklaren van fenomenen. Instrumentalisme is nauw verwant met het pragmatisme.

‘gewoon’ de eigenschapvariabelen aan elkaar moeten koppelen en ons niet meer af moeten vragen hoe het object er uitziet. Het punt is hier dat er geen strikt onderscheid gemaakt kan worden tussen theoretische- en waarnemingszinnen. Een elektron kun je niet direct waarnemen met een microscoop, ook niet met een elektronenmicroscoop. Een spoor van zo’n deeltje kun je wel zien met behulp van een nevelvat (Wilsonvat). Een bacterie is echt, want met een microscoop is een bacterie waar te nemen. Waarom is het dan niet toegestaan om te zeggen dat een elektron bestaat? In het begin van de 20e –eeuw werden elektronen voorgesteld als deeltjes, later kwam Schrödinger met het idee om elektronen als golfverschijnsel te beschrijven. De verschillende structuur opvattingen van een elektron wil niet zeggen dat er niet ‘iets’ is achter ieder waarneembaar fenomeen. Algemeen kunnen we stellen, dat we steeds meer te weten komen over de structuur van de entiteiten [Carnap, 1966, 256].

Het evolueren van een theorie, hetgeen we net zagen, ofwel een theorie opvatten als een dynamisch entiteit kunnen we ook terugzien in de Ramsey-zin [Psillos, 2006, 72-3]. Het ramseyficeren van een theorie is een groeiend proces, d.w.z. een Ramsey-zin moet als een groeiende existentiële zin gezien worden. Ramsey zelf gebruikte de metafoor van een sprookje om een theorie te omschrijven. ‘Er waren eens entiteiten zodat… ‘. Als deze theorieën aangepast[6] moeten worden, omdat er nieuwe waarnemings- en/of theoretische termen aan worden toegevoegd, dan valt dit materiaal nog steeds onder het originele: ‘Er waren eens..’. Dit zelfde verhaal is op de Ramsey-zin van toepassing; de vorm van de Ramsey-zin blijft fier overeind, alleen de inhoud wordt gemodificeerd of uitgebreid. Ik heb al eerder gezegd dat we dit in de wetenschap (of filosofie) vaker tegen komen [vb. hersenonderzoek p. 10]. Vergelijk in dit opzicht ook de Bolyai-Lobachevsky (hyperbolische) meetkunde met de Euclidische (vlakke) meetkunde. Simpel gezegd: in de Euclidische meetkunde werkt men met het *parallellen postulaat* (gegeven een lijn *m* en een niet op de lijn gelegen punt *P*, dan is er een unieke lijn *k* door *P evenwijdig* aan *m*), in hyperbolische meetkunde zegt men dat er door punt *P* ten minste twee verschillende lijnen gaan die *m* niet snijden. De Ramsey-zin die hoort bij de Euclidische meetkunde bevat dus minder variabelen *u* in vergelijking met de geramseyficeerde Bolyai-Lobachevsky meetkunde.

Onderbelicht in het betoog over de Ramsey-zin is het omgaan met causale wetten in R^{TC}. Ramsey zelf zag causale wetten niet als zuivere beweringen. Hij zegt:

> ‘Variable hypotheticals [causale wetten] are not judgements but rules for judging ‘If I meet a ϕ, I shall regard it as a ψ’’[Ramsey, 1931, 241].

Deze zin moet ik nader toelichten. Als we een wetenschappelijke theorie T formaliseren in een theorie *TC*, en vervolgens van *TC* een Ramsey-zin construeren, dan moeten we de gehele Ramsey-zin, met hierin de causale wetten als variabelen, beschouwen als betekenisvol. Wanneer gezegd wordt: ‘Als de temperatuur van een gas toeneemt, dan neemt ook de druk toe’, dan kan deze wet (wet van Gay-Lussac) in een Ramsey-zin worden opgenomen. Het gehele systeem wordt wel zeer complex (het volume (*vol*) van het gas moet constant zijn): in R^{TC} termen uitgedrukt: $u_k, u_k\ldots O_k\ldots O_{k+1}$. Verder geldt voor R^{TC} : $temp(b, t) = \ldots$, geeft: u_3; $u_3\ldots O_1\ldots O_2\ldots O_3$, en $p(b, t) = \ldots$, geeft: u_4; $u_4\ldots O_4, \ldots O_m$. Verder moet u_3 aan u_4 gerelateerd worden door $u_4 : u_3 = c$. Nu is te zien dat een causale wet niet los gezien kan worden van de ander variabelen in de Ramsey-zin. Het gevolg is dat één bewering geen ware uitspraak kan

[6] De flogistontheorie [zie ook Worrall, p.16] zit stil in een hoekje, terwijl de zwaartekrachttheorie van Newton een luxeprobleem heeft met het aangaan van relaties.

zijn in R^{TC}. Het geheel wordt natuurlijk nog complexer als er meerdere causale wetten in de theorie *TC* voorkomen.

Kijken we terug op de laatste alinea, dan zien we vraag II met het realistisch antwoord ad II.2 duidelijk terug. Bij de Ramsey-zin geldt dat de gehele structuur, met daarin de *O*-predikaten en *u*-variabelen, de theorie waar maken. De termen verwijzen naar entiteiten in de wereld en de relaties tussen de entiteiten vormen de structuur. In andere woorden gezegd: de theorie is gebaseerd op kennis die we denken te hebben over de werkelijkheid. Onderstaande belangrijke eigenschap van de Ramsey-zin sluit hier mooi op aan [Psillos, 2006, 72]:

R^{TC} is waarnemingstoereikend[7] $\leftrightarrow$ *TC* is waarnemingstoereikend (17)

Logici schrijven deze beweerzin meestal als:

$$(R^{TC} \vdash O\text{- zin}) \leftrightarrow (TC \vdash O\text{- zin}) \qquad (18)$$

Het symbool $\vdash$ is de deductie-relatie; het consequent volgt deductief uit het antecedent.

Als we stellen dat de Ramsey-zin R^{TC} waar is, d.i. een ware theorie voorstelt, dan geldt dat R^{TC} *waarnemingstoereikend* is. Hetzelfde kan gezegd worden over theorie *TC*. Waarnemings-toereikend wil zeggen dat alle uitspraken die R^{TC} en *TC* over het waarneembare doen, waar zijn. We moeten hier wel oppassen, want een willekeurige uitspraak kan waarnemings-toereikend zijn, maar niet waar zijn. Voorbeelden te over: 'De zon draait om de aarde' (d.i. een theoretische uitspraak), want dat zie je toch! De ware theorie vertelt helaas wat anders. Nog een voorbeeld: 'Er worden in april in Nederland veel baby's geboren, want er zijn dan veel ooievaars in het land'. Het moge duidelijk zijn dat dergelijke onzintheorieën niet binnen ons blikveld vallen.

Er is nog een conclusie die we kunnen trekken uit relatie tussen de formele theorie *TC* en de Ramsey-zin R^{TC}:

Er geldt: $TC \vdash R^{TC}$, maar er geldt *niet*: $R^{TC} \vdash TC$ (19)

De linkse bewering in (19) is duidelijk: als we een theorie *TC* beschouwen, dan is R^{TC} hieruit logisch afleidbaar [o.a. voorbeeld: p. 11-2]. Maar de rechtse term is niet waar, omdat R^{TC} feitelijke, empirische, inhoud bevat, terwijl *TC* naast de waarnemingspredicaten óók de theoretische inhoud bevat[8]. De term $R^{TC} \vdash TC$ wordt ook wel het 'betekenis postulaat', ofwel de Carnap-zin, genoemd van theorie *TC* [Psillos, 2006, 77]. Het behoeft niet veel inzicht om in te zien dat *TC* niet logisch afleidbaar is uit R^{TC}, omdat *TC* veel rijker aan inhoud is dan R^{TC}. Een voorbeeld waarop we onze tanden niet stuk hoeven bijten: mensen zijn levende wezens, maar alle levende wezens zijn niet alleen mensen.

We kijken even achterom. De twee vertegenwoordigers van de Logisch – Positivisten Carnap en Hempel worstelden met het verschil tussen waarnemings- en theoretische predicaten. Het probleem dat ze hadden was om de laatst genoemde predicaten op de een of andere manier te elimineren en alleen waarnemingszinnen in een formele theorie over te houden. Al met al een

---

[7] Psillos heeft het over *empirisch toereikend* maar dit begrip gebruiken we als geen strikt onderscheid gemaakt wordt tussen theoretische- en waarnemingszinnen. Bovendien is empirische toereikendheid tijdloos en waarnemings toereikendheidheid niet. In de semantische visie komt empirische toereikendheid aan de orde.
[8] Ik wijs hier op het voorbeeld dat over het elektron gaat [p. 12].

moeilijke kwestie. De Ramsey-zin, waarin gequantificeerd kan worden over 2^e orde predicaatsvariabelen, is over het algemeen makkelijker uitvoerbaar. In het oogspringend is dat er een verschuiving heeft plaats gevonden van een empirisch uitgangspunt naar een meer realistische visie (ik heb hier Carnap op het oog).

De volgende paragrafen, van dit eerste hoofdstuk, gaan over filosofen Maxwell en Worrall die de Ramsey-zin opnemen in hun theorieën, en waarin ieder op zijn manier verder afstand neemt van het oorspronkelijke empirische standpunt van de syntactici.

1.3 Het structuur-realisme van Maxwell

De realist Grover Maxwell (1918-1981) voegde het structuur-realisme van Russell en de theorie van de Ramsey-zin samen [Maxwell, 1970, 182]. Hij valt dus onder 'ad I.1 [p. 4] en ad II.2' [p. 5]. Hoe ging Maxwell te werk? Volgens hem doen wetenschappelijke theorieën allerlei uitspraken over onwaarneembare fenomenen, zoals objecten en processen. Deze uitspraken zijn de theoretische zinnen in een theorie, en de ware aard van die entiteiten en processen blijft voor ons een raadsel (zie ook Carnap). De vraag die Maxwell zichzelf stelt is: 'Hoe kunnen we dan naar die onwaarneembare fenomenen verwijzen?' Het antwoord zoekt hij in de descriptieve theorie van Russell. Zoals we reeds gezien hebben in § 1.1, is kennis die we van entiteiten kunnen verkrijgen structurele kennis. Intrinsieke kennis, van de 1^e-orde eigenschappen, kunnen we niet verkrijgen, alleen kennis van de hogere orde (of structurele) eigenschappen is voor ons bereikbaar [Maxwell, 1970]. Om die kennis te bemachtigen doet hij een beroep op de Ramsey-zin. Echter, Maxwell heeft een bezwaar tegen de algemene opvatting, d.i. dat de Ramsey-zin de theoretische termen elimineert. Deze termen bestaan volgens Maxwell nog steeds, maar ze zijn nu beschreven door variabelen, existentiële quantoren en waarnemingszinnen, die verwijzen naar vertrouwde kennis. Zijn claim is dat kennis van het theoretische domein beperkt is tot structurele kennis van hogere orde eigenschappen. De Ramsey-zin is, in essentie, een 'gestructureerde' afbeelding van de wereld, want een ware theorie laat ons de echte structuur van de werkelijkheid zien [vraag II].

Maar, een waterdichte theorie is dit niet. Er doemt hier wederom het probleem van isomorfie op. De beschreven structuur is nl. niet bij machte om de juiste relaties tussen fenomenen uit de werkelijkheid te kiezen. Maxwell's opvatting over de Ramsey-zin valt weer ten prooi aan het 'Newman's bezwaar', dat we eerder bij Russell gezien hebben. Ik zal dit bezwaar nu wat formeler uitleggen [Psillos, 2006, 77]. We gaan er vanuit dat R^{TC} (10) waarnemingstoereikend is, onder de voorwaarde dat de kardinaliteit van R^{TC} en het doel (deel van de wereld) dezelfde is. Een trivialiteit is verder de aanname dat R^{TC} de Ramsey-zin van formele theorie TC is. Van R^{TC} is een model M te maken, omdat R^{TC} consistent is (model-existentie lemma). Eveneens is van theorie TC een model te maken: noem dit model W. We nemen vervolgens aan dat de kardinaliteit van beide modellen M en W dezelfde is. Omdat R^{TC} waarnemingstoereikend is, mag gezegd worden dat de submodellen van M en W, met hierin de waarnemingstermen, hetzelfde zijn (ze 'redden dezelfde fenomenen'). Aangezien M en W dezelfde kardinaliteit hebben, is er een één op één relatie f tussen de domeinen van M en W. In model M definiëren we tussen de elementen $x_1,\dots, x_n$ relaties R, en in W krijgen we relaties R' tussen $f(x_1),..., f(x_n)$, vergelijk in dit verband (3), zodat:

$$R(x_1,...,x_n) \leftrightarrow R'(f(x_1),..., f(x_n)) \qquad (20)$$

Bovenstaande equivalentie stelt een isomorfie voor tussen de modellen M en W ($M \simeq W$). We mogen nu zeggen dat W een model voor R^{TC} is. Het probleem is dat we voor W een willekeurige collectie van objecten kunnen nemen die voldoet aan de formele structuur, mits voldaan is aan de eis van kardinaliteit. Om het structuur-realisme van Maxwell toe te passen moeten we bepalen welke relaties tussen objecten we bedoelen, maar dat gaat voorbij aan de theorie. Conclusie: Maxwell's poging is mislukt.

Hebben we Maxwell wel goed begrepen? Waarschijnlijk niet. Hij zegt nl. dat we *niet* alle structuur eigenschappen puur formeel moeten zien, d.w.z. in 1e en 2e –orde formele taal uitgedrukt [Maxwell, 1970, 188]. Hij rekende bv. ook *causale*[9] *connecties* tot de structuur eigenschappen, en zag causaliteit als een relatie die optreedt in het rijk van de waarnemingszinnen O_n. Dit is tegen de opvatting van Ramsey, die causaliteit niet als zuiver predicaat zag, en bovendien causaliteit onderbracht bij de variabelen u_n die de waarnemingszinnen moeten verklaren [§ 1.2.1 en Ramsey, 1931, 235]. Maxwell gaat nog een stap verder, door te zeggen dat dezelfde causaliteit óók werkt op onwaarneembare zinnen (dat het bereik is van de variabelen). Ja, zelfs causaliteit geldt óók tussen waarnemingszinnen en het onwaarneembare gedeelte van de Ramsey-zin. Verder kan gesteld worden dat de (wezenlijke) eigenschappen van de objecten, waardoor ze een causale relatie hebben, kenbaar zijn[10] [Psillos, 2006, 79]. Maar dan hebben we ook kennis van de causale relaties binnen het rijk van de onwaarneembare zinnen, omdat de causaliteit 'over de gehele structuur werkt'. Het komt er dus op neer dat wezenlijke eigenschappen aan de basis liggen van de causale werking tussen waarneembare- en onwaarneembare entiteiten. We zitten hiermee op het spoor van Russell's structuur-realisme, specifiek: de causale-theorie van de waarneming [§ 1.1]. Volgens die theorie zijn onze sense data causaal verbonden met de objecten buiten ons. De causaliteit moet dus gezocht worden in de wezenlijke eigenschappen van de objecten. Eveneens geldt dat verschillende stimuli de oorzaak zijn voor verschillende sense data. We kunnen ook zeggen dat de stimuli verschillen in hun wezenlijke eigenschappen.

We kunnen concluderen dat we met Maxwell twee kanten op kunnen. Ten eerste: we kunnen willekeurige objecten kiezen die in de Ramsey-zin gebruikt worden, met als gevolg dat we niet weten waar de theorie over gaat; alleen de kardinaliteit van R^{TC} en een willekeurig deel van de wereld moet hetzelfde zijn (het Newman's bezwaar). Ten tweede: wanneer we wezenlijke (intrinsieke) eigenschappen toelaten, die voor causale relaties tussen entiteiten kunnen zorgen, dan is er eigenlijk geen sprake meer van een structuur-realisme van Russell. Dat laatste komt omdat Russell niet geïnteresseerd was in de noumena achter de fenomenen (komen we toch nooit te weten).

1.4 Het structuralisme van Worrall

Zoals we hebben gezien geeft de syntactische visie, als antwoord op de vraag: 'Wat is een wetenschappelijke theorie?', verschillende versies met het empirisme en het realisme als uitgangspunten. Met zijn voorgangers Carnap & Hempel en Maxwell wil ik met de bespreking van John Worrall (1946) het 'drieluik' over Ramsey m.b.t. de syntactische visie afsluiten. Worrall heeft een andere aanpak in vergelijking met de eerder besproken filosofen,

[9] Het valt buiten de opzet van deze thesis om op het begrip causaliteit dieper in te gaan. Het volstaat om causaliteit te zien als fysieke veroorzaking (bv. een natuurwet).
[10] De gedacht komt misschien op dat dit metafysica is, maar die gedachte moeten we laten varen, omdat we nog steeds de aard van de objecten niet kennen, maar wel de effecten (d.i. causaliteit).

vandaar dat ik zijn opvatting omschrijf als *structuralisme.* Feitelijk neemt hij positie ‘ad I.1 en ad II.3’ in. De uitgangspunten, van zijn structuralisme, moeten gezocht worden in wat in de wetenschapsfilosofie *het mirakelargument* en *de pessimistische meta-inductie* worden genoemd [Worrall, 1989]. Het eerste uitgangspunt zegt: De enige verklaring voor het empirische en technologische onweerlegbaar succes van wetenschappelijke theorieën is dat zij (bij benadering) de waarheid spreken over de werkelijkheid. De werkelijkheid bestaat, zoals we al eerder hebben gezien, uit waarneembare- en onwaarneembare entiteiten. Ware beweringen worden over al deze waarnemingen gedaan, anders zou het succes van de theorieën een mirakel zijn. Het pessimistische uitgangspunt zegt: De ‘beste’ wetenschappelijke theorieën uit het verleden zijn bijna allemaal verworpen, omdat ‘nieuwe’ wetenschap de ‘oude’ degradeert tot onwaar. Denk maar eens aan de *flogistontheorie* (hitte werd gezien als het vrijkomen van een substantie genaamd flogiston), de *ethertheorie* (ether moet als tussenstof opgevat worden, om de voortplanting van elektromagnetische straling mogelijk te maken) en het *vitalisme* (de basis van alle leven is de substantie protoplasma). Het begrip inductie, in de tweede aanname, betekent dat de huidige theorieën met hun onthullingen over de werkelijkheid uiteindelijk ook in de versnipperaar verdwijnen. Worrall geeft een optimistische draai aan de pessimistische meta-inductie-problematiek door een soort realisme te gebruiken, het structuralisme, dat het opgeworpen probleem oplost. In zijn visie staat, net als in het realisme van o.a. Russell, het wezen van de entiteiten (ook) niet centraal. Worrall gaat nog een stap verder, want hij verwijst in zijn theorie niet naar entiteiten, maar zoekt alleen naar de structuur van de relaties; de natuur *is* enkel structuur [p. 5]. Let wel, als het in de wetenschap gaat om de ware aard van de objecten en processen te beschrijven, dan is Worrall ook een pessimist. Maar, de ‘structuur van de werkelijkheid ontdekken’ is zijn alternatief, en het is zijn claim dat de wetenschap een bepaalde structuur beschrijft die blijvend is. Het was de zoektocht naar die structuur, dat hem naar de Ramsey-zin deed grijpen. Het verschil tussen de Ramsey-zin voor theorie *TC* (Worrall heeft het alleen over *T*, correspondentieregels *C* worden niet meer opgenomen in zijn structuur, omdat die gereduceerd kunnen worden tot waarnemingstermen) en theorie T is een verschil tussen vorm en inhoud. Het verschil moet bovendien epistemologisch opgevat worden [Saunders & McKenzie, 2015, 149]. Er geldt dan, net als bij Carnap:

> ‘Structural realism [structuralisme] is in effect committed to the view that the cognitive content of a theory is fully captured by its Ramsey sentence’
> [Worrall & Zahar, 2001, 236].

Wanneer een klassieke theorie wordt ingehaald door een andere (betere) theorie, blijven volgens Worrall, de oude termen nog steeds in de Ramsey-zin staan. Tussen oude en nieuwe terminologie is een zekere samenhang. Het verschil is dat de nieuwe theorie ‘betere kaarten’ heeft voor het beschrijven van de werkelijkheid. Zo blijft bij *de wet van Ohm* (deze wet gaat over de relaties tussen elektrische stroom, spanning en weerstand) de wiskundige structuur altijd intact. Die structuur is onafhankelijk van de theorieën die over de aard van bv. elektronen gaan. Andere voorbeelden waarbij van een duurzame structuur sprake is, zijn: de *wet van Snellius* in de optica, en *de valwet van Galilei*. In beide gevallen ligt een wiskundige orde ten grondslag aan de wetmatigheden. Tegelijkertijd zijn ze natuurlijk ook waarnemingstoereikend, omdat ze alle wetenschappelijke stormen hebben doorstaan.

☼ Laten we ten slotte kijken of de structuurgelijkheid in de Ramsey-zin ook opgaat in het volgende opmerkelijk voorbeeld dat over een gehele theorie gaat en niet alleen over wetten die in een theorie voorkomen. Neem voor theorie T_1 (geformaliseerd voor de Ramsey-zin is dat T_1) de newtoniaanse mechanica en neem voor T_2 de (klassiek) hamiltoniaanse mechanica die uit gaat van energieën van het systeem (de geformaliseerde vorm is T_2). De beide theorieën zijn empirisch gelijk, d.w.z. de theorieën worden door dezelfde waarnemingen bevestigd. Theorie T_2 is wiskundig robuuster dan theorie T_1; T_2 beschrijft de mechanica 'vollediger'. We kunnen vervolgens met T_2 een krachtigere theorie *S*, zijnde de Quantummechanica, construeren (geformaliseerd). *S* vervangt zodoende T_1 en T_2 empirisch. Wanneer we over gaan van theorie T_2 naar *S* dan blijft alleen de (gemodificeerde) wiskundige structuur van de Hamiltoniaan (of Hamiltonfunctie) van T_2 behouden [Worrall & Zahar, 2001, 250-1].

Critici op Worrall zeggen dat een Ramsey-zin onmogelijk de verschillende theorieën kan bevatten, omdat ze formeel van elkaar verschillen. De syntactische constructie van de Ramsey-zin kan de vermeende relatie tussen opvolgende theorieën niet waar maken. Er is misschien tussen oude en nieuwe theorieën een bepaald structuurbehoud, maar de Ramsey-zin is niet bij machte om die structuur aan te bieden [Saunders & McKenzie, 2015, 149]. Ik denk dat ze ongelijk hebben, omdat we niet moeten kijken naar de logische uitwerkingen van bv. de Hamiltoniaan, maar we moeten de vorm van de functies bestuderen. De vorm van die functies hebben nl. dezelfde structuur, en die kan in de Ramsey-zin ondergebracht worden in de verzameling (hoger orde) variabelen. En laten we niet vergeten dat de Ramsey-zin als een groeiende existentiële zin opgevat dient te worden [§ 1.2.1].

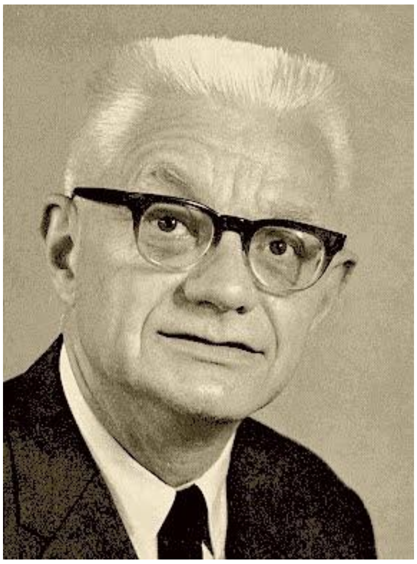
1.5 De Ramsey-zin als juweel van de syntactische visie

In dit hoofdstuk is al een paar keer gezegd dat we een Ramsey-zin als een dynamische entiteit moeten zien die het ontwikkelen van een theorie weergeeft. De gemodificeerde theorie heeft nog dezelfde structuur als zijn voorganger(s), wanneer we er tenminste vanuit gaan dat empirische inhoud van de oude theorie behouden blijft. De Ramsey-zin is voorlopig het beste instrument om de basisstructuur van de theorieën vast te leggen. De natuurlijke verbindingen die in de werkelijkheid liggen, welke dus de structuur van die werkelijkheid vormen, worden door de Ramsey-zin zo goed mogelijk getoond. Met de Ramsey-zin hebben we dus antwoorden gekregen op de twee vragen die in de inleiding staan:'Wat is het karakter van een wetenschappelijke theorie?'en 'Wat vertelt een theorie ons over de werkelijkheid?'.

Om de structuur van de wereld beter te beschrijven kunnen de verzamelingen van variabelen en waarnemingszinnen in een Ramsey-zin aangepast en uitgebreid worden, zonder dat de structuur van de Ramsey-zin verandert. Feitelijk kunnen we continuïteit en verandering van een theorie onder het zelfde dak onderbrengen [Psillos, 2006, 87]. De continuïteit is gewaarborgd door de variabelen in de Ramsey-zin, terwijl de verandering doorgevoerd kan worden door 'extra theorie' toe te voegen (of eventueel achterhaalde theorieën weg te laten). De Ramsey-zin, als een constructie van wetenschappelijke theorieën, tendeert wel steeds meer richting puur wiskundige structuren gecombineerd met waarnemingszinnen om 'oude' en 'nieuwe' theorieën te bedienen [§ 1.4 Worrall]. We kunnen ook zeggen: de wiskundige structuren zijn van de oorspronkelijk 2^e - orde variabelen 'weggeabstraheerd'. De critici hebben een punt als het gaat over bv. de logische consequenties van de verschillende theorieën. Denk maar aan het causaliteitsprincipe in de Klassieke Mechanica. Dit principe gaat niet op in de Quantummechanica, tenzij we moeten uitgaan van een soort waarschijnlijkheidscausaliteit. Maar volgens o.a. Worrall gaat het daar niet om. Hij ziet in de onderliggende structuur een overeenkomst tussen de theorieën. De Ramsey-zin geeft daarom, tot nu toe, de beste 'theorie voor theorieën'; het juweel van de syntactische visie. Echter we moeten bescheiden zijn; we eisen geen uniciteit [Psillos, 2006, 87]. Ergo, alles overziend blijft het praktisch uitvoeren een zeer complexe operatie om theorieën om te bouwen naar een Ramsey-zin [§ 1.2.1: het voorbeeld over de gastheorie]. Eveneens is het opnemen van twee of meerdere theorieën in de Ramsey-zin lastig. In verband hiermee wil ik u de volgende metafoor niet onthouden. Vergelijk: een VW kever uit 1950 (‘oude theorie’) en een Ferrari FF uit 2012 (‘nieuwe theorie’), de overeenkomst: allebei zijn het voertuigen op 4 wielen met gaspedaal, remmen, enz. (onderliggende structuur), maar de uitvoering is evident verschillend.

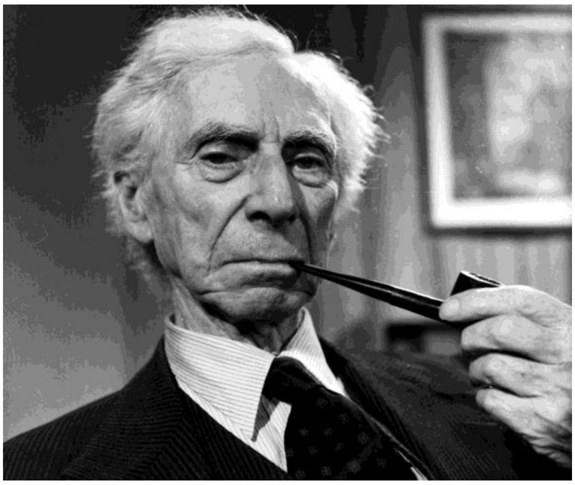
In de fotogalerie op de volgende pag. krijgen de filosofen uit dit hoofdstuk een gezicht.

1.6 Fotogalerie 1



Carl Hempel

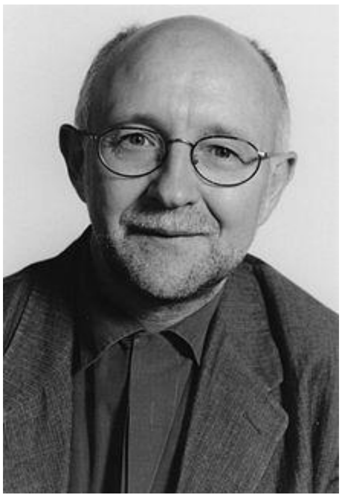
Rudof Carnap



Bertrand Russell

Frank Ramsey

Maxwell Newman



John Worrall

HOOFDSTUK 2
Wiskundige structuren; met of zonder taal

In het vorige hoofdstuk speelt er enerzijds het probleem op het gebied van de epistemologische structuren nl. het trivialiteits-argument van Newman tegen Russell en Maxwell, en anderzijds zijn er problemen besproken i.v.m. de syntactische visie op wetenschappelijke theorieën. De twee meest in het oog springende punten met betrekking tot de laatste kwestie vind ik:

(a) Het verschil tussen waarnemings- en theoretische zinnen is problematisch, zoals het reduceren van de theoretische- naar waarnemingszinnen.
(b) Het formaliseren maakt een, mogelijke, theorie bijna onuitvoerbaar (denk aan de Ramsey-zin) [Suppe[11], 2000, 103].

Het zijn o.a. deze twee problemen die filosofen hebben aangezet om met een andere blik te kijken naar het karakter van wetenschappelijke theorieën. Patrick Suppes (1922-2014) was een van de eersten die zich in het begin van de jaren 50 afzette tegen de syntactische structuren, en het idee van *verzamelingstheoretische structuur* introduceerde. Suppes kan gezien worden als grondlegger van de, later te bespreken, semantische visie. Suppes' visie is een soort *afgeslankte semantische visie*, een opvatting die zijn basis in de wiskunde heeft, en waarbij wetenschappelijke taal ook passend gemaakt moet worden voor de wiskundige structuur.

2.1 De verzamelingstheoretische visie van Suppes

In *Representation and invariance of scientific structures* [Suppes, 2002] zet Suppes zijn verzamelingstheoretische visie over wetenschappelijke theorieën uiteen. Het moge duidelijk zijn dat we met vraag 1 te doen hebben. Voor wat betreft vraag 2: Suppes heeft zich nooit uitgesproken over kennistheoretische kwesties, maar gezien zijn aanpak schaar ik hem onder het realisme. De reden is dat hij (zoals we zullen zien) entiteiten uit de werkelijkheid met hun relaties opvat als verzamelingstheoretische structuren. Let op: wanneer een structuur de theorie goed weergeeft (waarmaakt), dan spreken we van een model. Het begrip model staat in zijn boek centraal. In de wetenschap betekent een model een soort abstract ontwerp, los van de diverse details. Tarski geeft een formeel wiskundige omschrijving, waarop Suppes zich beroept:

> 'Een mogelijke realisatie, waarin alle geldige zinnen van een theorie T voldoen, wordt een model van T genoemd'[Tarski, 1953, 11].

De oplettende lezer zal nu misschien opmerken dat we het modelbegrip al eerder zijn tegengekomen in Hoofdstuk 1. Dat klopt natuurlijk. Alleen moeten we *model* nu niet opvatten als een linguïstische structuur, zoals we dat bij bv. Carnap hebben gezien, maar als een wiskundige structuur. Het wiskundig gereedschap dat we gebruiken is de *verzamelingsleer*,

[11] Suppe geeft nog een paar redenen waarom de zgn. *received view* faalde. Hij doelt hier voornamelijk op de ongelukkige toepassing van de correspondentieregels, maar punt (a) wijst ook al in die richting.

daarom noemen we deze structuur een verzamelingstheoretisch model[12]. De definitie van een model, zoals Tarski die gaf, gaat Suppes toepassen op de empirische wetenschappen; het model is in die zin dus contextgebonden.

Bovenstaande geeft de vorm van een model aan. We gaan nu Suppes' modelbegrip verbinden met een theorie. Een theorie T beoogt processen en/of dingen te beschrijven die in de werkelijkheid optreden. Door in experimenten metingen te verrichten worden aan de kwalitatieve verschijnselen getallen gekoppeld; deze getallen noemen we *data*. Met de verkregen meetgegevens kunnen we nu een *datastructuur G* maken [Suppes, 2002, 63]. Neem aan dat een voorwerp, met een gegeven massa, zich met een constante snelheid verplaatst. We meten verschillende afstanden en tijden, dus: massa (m), afstand (s) en tijd (t). De verzameling meetgegevens wordt dan: $\{(m, s_1, t_1), (m, s_2, t_2), \ldots\}$, dit geeft de datastructuur $G = \langle m, s, t \rangle$. Vervolgens construeerde Suppes een raamwerk van de elementaire logica. In dit frame worden axioma's uit de verzamelingsleer opgenomen. We moeten hierbij denken aan: verzamelings-variabelen en $\in$ (= element van). Een belangrijke stap bij het axiomatiseren[13] (axiomatische formalisatie) van wetenschappelijke theorieën is het definiëren van geschikte verzamelingstheoretische predicaten *T*; denk hierbij bv. aan de 1^e, 2^e en 3^e wet van Newton in predicaatvorm. De verkregen predicaten worden ook weer aan het eerder genoemde raamwerk toegevoegd. Suppes benadrukt dat het definiëren van de predicaten een cruciaal punt is binnen het axiomatiseren van een wetenschappelijke theorie [Suppes, 2002, 30]. Het raamwerk (of verzamelingstheoretische structuur) waarin een predicaat is opgenomen vormt één model *M* (met $M \in T$) van theorie T, en een verzameling modellen M vormt de structuur van theorie T. Uiteraard moeten datastructuur *G* en een model $M \in$ M nog op elkaar afgestemd worden. Hoe dat verloopt zal in het voorbeeld over de theorie van Newton uitgelegd worden [p. 23].

☼ Een voorbeeld van een verzamelingstheoretische structuur (predicaat) is de *groepentheorie*. De volgende axioma's zijn van toepassing op een groep:
*A*1: $x \circ (y \circ z) = (x \circ y) \circ z.$
*A*2: $x \circ e = x.$
*A*3: $\forall x \exists x^{-1}\colon\ x \circ x^{-1} = e.$

Hierin is $\circ$ de binaire operatie (bv. optellen, vermenigvuldigen...), e is het neutrale element en $^{-1}$ de inverse operator. Een groep moet gezien worden als een wiskundig object (een één-plaats predicaat, en is een voorbeeld van *T*), waarin de verzameling *A* (met de elementen *x, y* en *z*) en de axioma's *A*1, *A*2 en *A*3 zitten. Een *groepsstructuur* S wordt geschreven als een geordend quadrupel: $S = \langle A, \circ, e, ^{-1} \rangle$. Een voorbeeld van een groep, waarin de diverse variabelen 'tot leven komen', is de algebraïsche structuur:
$S = \langle \mathrm{Z}, +, 0, n \mapsto -n \rangle$, met de bewerking + op de verzameling: $\mathrm{Z} =$ ..,-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3,..
*A*1 geeft dan bv.: -2 + (-1 + 4) = (-2 + -1) + 4 = 1; *A*2 wordt: -2 + 0 = -2; tot slot *A*3:
-2 + - -2 = 0.

Suppes zegt dat er in de filosofie van de wetenschap geen scherp onderscheid is tussen pure wiskunde en toegepaste wiskunde. Op die manier passen bv. de geaxiomatiseerde definities

[12] Fysici gebruiken liever het begrip *fysisch model*, en wiskundigen spreken over een *wiskundig model* als ze bv. een bepaald stochastisch proces beschrijven [Suppes, 2002, 20].
[13] De problemen van de standaard formalisatie (type 1^e –orde predicaten logica), worden nu vermeden, omdat nu wordt gewerkt met de 'strengheid' van de wiskunde die in de theorieën zit.

uit de mechanica of thermodynamica binnen de puur wiskundige definities van groepen, *ringen* of *lichamen*[14] [Suppes, 2002, 33].

De verzamelingstheoretische visie kunnen we samenvatten: Er worden data verzameld, en die data vormen een gegevensstrucuur G. Wanneer G goed bestudeerd wordt, is er een regelmaat te bespeuren tussen de meetgegevens. Vervolgens voegen we hieraan een verzamelingstheoretisch predicaat toe. Het geheel vormt een model van een deel van een wetenschappelijke theorie (bv. een wet). De verzameling modellen (M) vormt de theorie T. Dus, kernachtig uitgedrukt: M geeft het karakter weer van T.

☼ Tot besluit een voorbeeld om de besproken visie toe te lichten. We nemen weer [vb. § 1.2] de formule van de 2^e^ - wet van Newton, waarin versnelling a constant is:

$$F = m \times a$$

De structuur van de theorie van Newton voor Klassieke Mechanica is [Suppes, 2002, 21-2]:

$$C = \langle P, t, m, s, F \rangle \qquad (21)$$

Binnen deze quintupel is P de verzameling objecten, t is het symbool van tijd, s is de plaatsfunctie, m is de massa en F is de krachtfunctie. Er moet natuurlijk gelden dat: $F_p = m_p \times a_p$, anders is alle moeite voor niets geweest. De structuurvariabelen m, s en F werken we om naar een afbeelding op de reële getallen **R**, en variabelen P en t worden op $\mathbf{R}^+$ afgebeeld. Dit alles ziet er als volgt uit:

$t = [a, b] \subset \mathbf{R}^+$; $m : P \to \mathbf{R}^+$; $s : P \times t \to \mathbf{R}^3$ met $s(p, t) \to \vec{r}$; $F: P \times t \to \mathbf{R}^3$

We werken met de gegevensstructuur $G = \langle m, s, t \rangle$. De versnelling a zit helaas niet in de structuur; zij is niet rechtstreeks te meten. Gelukkig is er een oplossing: de snelheid v is fysisch afhankelijk van de plaatsfunctie s en tijd t, welke in de gegevensstructuur G zitten. Vervolgens kunnen we via de snelheid v de versnelling a ‘bereiken’:

$$v(t) = \frac{ds(t)}{dt}$$

Nu is v bekend. Vervolgens krijgen we, via elementaire natuurkunde[15]:

$$a(t) = \frac{dv(t)}{dt}$$

De massa m zit ook in G, dus met de versnelling a geeft dit:

$$F_p = m_p \times a_p$$

[14] Bij ringen is sprake van 2 operaties, en bij lichamen worden 4 bewerkingen gebruikt binnen de structuren.

[15] De berekening kan ook direct (met de 2^e^-afgeleide: $a(t) = \frac{d^2 s(t)}{dt^2}$. De relatie met de gegevensstructuur G is dan minder doorzichtig.

Bovenstaande formules passen in de geaxiomatiseerde verzamelingstheorie, en vormen hierin een ring (een ring i.p.v. een groep, omdat de operaties vermenigvuldigen en delen in de structuur gebruikt worden). Het voorbeeld laat bovendien mooi zien dat de gegevensstructuur *G* is *ingebed* (structuur behoudende afbeelding) in structuur *C* (21). Zodoende is een model *M* gemaakt voor de 2^{e}-wet van Newton.

2.1.1 Giere's definitie/hypothese opvatting

In deze korte subparagraaf zal ik Giere in verband brengen met Suppes' opvatting betreffende de aard van wetenschappelijke theorieën. We grijpen nog even terug op het hierboven uitgewerkte voorbeeld: de axioma's van Newton's Klassieke Mechanica waren hierin herschreven in verzamelingstheoretische termen. In het algemeen zou je kunnen zeggen dat we een format hebben gecreëerd, welke wetenschappelijke theorieën karakteriseert in wiskundige termen. Ronald Giere (1938) borduurt verder op deze definitie van theorieën. In *Explaining Science* [Giere, 1988] zet hij zijn ideeën uiteen. Volgens hem bestaat een theorie uit (a) de *theoretisch definitie*, deze definieert een zekere klasse van systemen, en (b) een *theoretische hypothese*, welke beweert dat er verschillende soorten systemen in de werkelijkheid tot die klasse behoren. Het komt er op neer dat (b) in (a) is ingekapseld [Van Fraassen, 2014, 20]. Een wetenschappelijke theorie is op die manier een conceptuele structuur die diverse toepassingen kan hebben, omdat er steeds nieuwe hypothesen aan toegevoegd kunnen worden. Een aardig voorbeeld om het verschil tussen Giere's 'defintie- en hypothese termen' toe te lichten is het volgende: ons zonnestelsel is een newtoniaans systeem, met de zon (massa) als centrum van absolute rust en waarin de planeten stabiele banen maken om de zon. Deze toepassing kan als een toegevoegde hypothese gezien worden aan de theoretische definitie van Newton [Van Fraassen, 2014, 20]. Voor de definitie moet de 3^{e} - wet van Newton genomen worden (de 'actie = - reactie wet').
De theoretische definitie kan bv. gezien worden als een verzamelingstheoretische definitie van een klasse van structuren. Giere vat een hypothese op als een *analogie* van een model uit de theorie met een deel van de wereld. Voorts ziet hij een model als een *abstracte entiteit* [Giere, 1988, 81]. Echter hij verzuimt om dit te specificeren. Waarschijnlijk moeten we zulke entiteiten weer opvatten als puur verzamelingstheoretische structuren *à la* Suppes. Ook tamelijk vrijblijvend is zijn opvatting over *graden van analogie*, letterlijk: meer overeenkomst betekent dat het model beter de werkelijkheid weergeeft. Feit blijft dat de inhoud van het model te vrijblijvend is; de fenomenen moeten correct weergegeven worden in het model. In essentie heeft Giere wel gelijk, maar de theoretische hypothese moet beter, exacter, omschreven worden, en samen met de theoretische definitie (met verzamelingstheoretische groepen, ringen en lichamen) leidt dit tot een consistente theorie van een wetenschappelijke theorie.

Een terugblik op de verzamelingstheoretische constructie van wetenschappelijke theorieën leert ons dat zij, in het algemeen, gebruiksvriendelijker is dan de syntactische structuur opvatting. De verzamelingstheoretische visie beperkt zich niet alleen tot de natuurkunde, ook in de economie, biologie en scheikunde, kan deze visie op theorieën gebruikt worden. Een nadeel van Suppes' theorie is wel dat hij teveel in de datastructuren blijft hangen, en bijgevolg te weinig oog heeft voor de fenomenen waarover de wetenschappelijke theorieën uiteindelijk gaan. Bij Giere zien we iets soortgelijks; de analogie van een model met een deel van de wereld is te oppervlakkig. De semantische visie zal op deze kritiek ingaan, en een mogelijke oplossing bieden.

2.2 De semantische visie

Inmiddels is het wel duidelijk dat in de beantwoording van vraag 1, een zekere omgekeerde evolutie plaats vindt aangaande de complexiteit. Ik bedoel hiermee dat de syntactisch visie qua uitvoerbaarheid complexer is dan de verzamelingstheoretische visie. Wanneer we deze lijn doortrekken dan mogen we verwachten dat de semantische visie weer gemakkelijker is dan die van Suppes. Hier moet ik u helaas teleurstellen. De semantische opvatting is zeker niet minder complex, dat komt doordat de koppeling met modellen uit de werkelijkheid hierin een prominentere rol toebedeeld krijgt in vergelijking met zijn verzamelingstheortische voorganger. Voordat ik aan Van Fraassen begin, de wetenschapsfilosoof die school gemaakt heeft met zijn semantische visie, zal ik Beth bespreken. Van Fraassen heeft zich nl. nadrukkelijk door de Nederlander Beth laten inspireren.

2.2.1 Beth's visie op wetenschappelijke theorieën

De logicus en filosoof Evert Beth (1908-1964) heeft, zoals gezegd, de semantisch visie in het zadel geholpen. Zijn wetenschappelijke bijdrage begint met een proefschrift uit 1935, waarin hij een Logisch Positivistische zienswijze verdedigde. Ja, zelfs met zijn *Natuurphilosophie* [Beth, 1948] was hij in principe nog een protegé van een op waarnemings- en theoretischezinnen gestoelde syntactische structuur, maar er komt nu een omkeer, want in dit boek maakt hij in een aanhangsel een opmerking richting de semantische opvatting [citaat p. 27].

Beth maakt dus een filosofische ontwikkeling door: van een syntactische- naar een meer semantische visie. In het boek *Natuurphilosophie* wil hij afrekenen met de traditionele opvattingen over de filosofie van de wetenschap, en dan specifiek de filosofie van fysische theorieën. Hij richt voornamelijk zijn pijlen op aristoteliaanse en thomistische filosofieën, die uitgaan van een inductief redeneerapparaat[16], en beïnvloed zijn door de religie. De aristoteliaanse visie van inductie berust op de overtuiging van een innerlijke overeenkomst van de menselijke geest met de diepste wereldgrond [Beth, 1948, 24]. Deze traditionele wetenschapsfilosofische systemen stellen zich op de dezelfde hoogte als de wetenschap zelf. In zijn boek heeft hij bv. kritiek op de natuurkundige Hoenen die theologische achtergrond had (Jezuïet), en zich nadrukkelijk heeft laten beïnvloeden door Aristoteles, want Hoenen zegt dat de moderne natuurwetenschap specificaties zijn van Aristoteles' *algemene principes*[17] [Beth, 1948, 32-3]. Volgens Beth moet de filosofie een ander standpunt innemen; filosofie van de natuur (wetenschapsfilosofie) moet op een meta-niveau beoefend worden, en niet op het zelfde niveau opereren als de wetenschap. Zij moet wetenschappelijke theorieën als objecten van onderzoek zien, en niet rivaliseren met de wetenschap. [Beth, 1948, H. III] Het volgende citaat geeft de denkrichting van Beth aan:

> 'Ik zal...trachten aan te tonen, dat een natuurkundige theorie een interpreteerbaar algorithmus is..' [Beth, 1948, 53].

[16] Beth komt met een voorbeeld: Aristoteles vergelijkt het verwerven van natuurkennis met iemand die enkele noten van een muziekstuk heeft gehoord, en met grote zekerheid weet wat er verder komt [Beth, 1948, 24].
[17] Ik verwijs hier nadrukkelijk naar Hoofdstuk 3, waarin de structuur visie van Muller uit de doeken wordt gedaan. Een belangrijke toevoeging van hem, aan de discussie over de aard van wetenschappelijke theorieën, is het invoeren van het *klassieke ideaal van wetenschappen* met bijzondere aandacht voor de *zijnden* die in de *principes* voorkomen.

Een *interpreteerbaar algorithmus* moet opgevat worden als een combinatie van een algoritme (een formeel recept) met semantische regels. Daarna formuleert hij een syntactische en semantisch raamwerk voor fysische theorieën. We krijgen dan een deductieve logische structuur van een theorie. In die structuur weerspiegelt de wiskunde de *toestandsruimte* van het fysische systeem. Het is belangrijk om te weten dat Beth het niet over de toestandsruimte heeft, maar over *uitspraken* (of *uitdrukkingen*) met *bouwstenen x* en *p*. In het geval van de Klassieke Mechanica[18] noemt men de toestandsruimte de *faseruimte* (of *systeemruimte*), d.i. de toestand van het fysisch systeem op een bepaald moment, en wordt gerepresenteerd door een punt in een (*euclidische*) ruimte. Dit klinkt nogal abstract, daarom geeft Beth een voorbeeld uit de Klassieke Mechanica [Beth, 1948, 92]:

☼ De constructie van de deductieve structuur kan toegepast worden op de harmonische oscillator, d.i. een trillende veer. Hierin moeten we een puntmassa beschouwen die zich onder invloed van een kracht *F* over een afstand x t.o.v. een evenwichtspunt beweegt. Voor dit systeem geldt de volgende formule:

$F = -\frac{1}{n}x$, met *n* een constante.

Het karakter van een theorie heeft de vorm van een deductieve structuur. In dit voorbeeld uit de Klassieke Mechanica is het begrip *impuls p* de sleutel om tot die structuur te komen, omdat hierin massa, afstand en tijd (en uiteraard snelheid: $v = \frac{x}{t}$) samenkomen. Zij kunnen als fundamentele grootheden beschouwd worden. Voor impuls *p* geldt: $p = mv = m\frac{dx}{dt}$. Deze vergelijking is weer te schrijven als: $\frac{dx}{dt} = \frac{1}{m}p$. Als de puntmassa *m* een zeer kleine afstand *dx* aflegt geldt dus:

$$dx = \frac{1}{m}pdt$$

Wat we voor *dx* gedaan hebben kan ook voor *dp*. Voor een zeer kleine *dp* schrijven we: $dp = mdv$. We delen linker en rechter lid door *dt*: $\frac{dp}{dt} = m\frac{dv}{dt} = ma = F = -\frac{1}{n}x$. Kracht *F* is nu ook uitgedrukt in *p*, want: $\frac{dp}{dt} = -\frac{1}{n}x$. Voor *dp* geldt:

$$dp = -\frac{1}{n}xdt$$

Een toegestane uitspraak (d.i. *elementaire uitspraak*) kan als volgt geschreven worden: $[x, p]_t$. Dit betekent: puntmassa *m* bevindt zich op plaats *x*, met impuls *p*, op tijdstip *t*. Wanneer we het massapunt een zeer korte tijd *dt* later beschouwen bevindt het zich op

[18] Een theorie in de Qantummechanica heeft te maken met de *Hilbert-ruimte* (d.i. een abstracte complexe vectorruimte met eindige- en oneindige dimensies).

$x + dx$. De impuls p is dan: $p + dp$. (We zien hier een toepassing van de faseruimte (x, p), want de elementaire uitspraak bevat ook de variabelen x en p).
De elementaire uitspraak $[x, p]_t$ wordt nu:

$$[x + dx, p + dp]_{t+dt}$$

Daarna schakelt Beth over op de propositielogica, en voert speciaal voor dit voorbeeld een *nieuwe*[19], voor de newtoniaanse mechanica typerende, deductieregel in [Beth, 1948, 94] die onmiddellijk volgt uit $[x + dx, p + dp]_{t+dt}$, $dx = \frac{1}{m} pdt$ en $dp = -\frac{1}{n} xdt$:

$$[x + \frac{1}{m} pdt, p - \frac{1}{n} xdt]_{t+dt} \tag{22}$$

Deze mechanische deductieregel drukt de bewegingswet 2^{e} - wet van Newton uit [p. 23, voetnoot 15]:

$$F = m\frac{d^2x}{dt^2}$$

De wet geeft, gedurende een zeer klein tijdsinterval, de evolutie van de puntmassa weer. Het behoeft geen betoog dat hier i.p.v. logica andere wiskunde (de differentiaalrekening) is ingezet. Beth gebruikt in dit voorbeeld van de harmonische oscillator dus verschillende deelgebieden uit de wiskunde om het systeem te duiden. Je zou kunnen opmerken waarom het niet mogelijk is alleen elementaire logica te gebruiken, maar Beth zegt dat er geen wezenlijk verschil is tussen logica en andere wiskundige hulpmiddelen [Beth, 1948, 96]. De theorie is, volgens Beth, een algoritme, en moet nog verbonden worden met de meetgegevens (zie hier positie I.1: de syntactische visie en II.1: het empirisme). De empirische inhoud van $[x, p]_t$ is dat op tijdstip t de puntmassa op plaats x met $v = p : m$ gevonden kan worden. Dit laten we voorlopig buiten beschouwing, omdat de betekenis van x, p en t tot de semantiek behoord, en niet tot de logische syntax [Beth, 1948, 93]. Met de nodige logische en wiskundige connecties zouden dan vervolgens meer empirische uitspraken gevonden kunnen worden. We zien hier al de worsteling die Beth doormaakt. Hij gaat nl. niet verder in op de semantische implicaties van de elementaire uitspraak $[x, p]_t$.

Samenvattend: de deductieve logische structuur van de harmonische oscillator kan in een wiskundige beschrijving van de faseruimte (d. i. de (x, p)-ruimte), en de tijdsevolutie van de puntmassa worden uitgedrukt.

Na een soortgelijke beschouwing voor de Quantummechanica, maar nu met de Hilbert-ruimte als toestandsruimte, komt hij met een kleine, doch belangrijk aanhangsel. Beth maakt hierin een toespeling richting de semantisch opvatting:

> 'De in hoofdstuk VII ontwikkelde interpretatie (*in termen van waarnemingszinnen*) is bijgevolg géén analogon van de semantiek'[Beth, 1948, 133].

[19] De *oude* deductieregels zijn bv.: *NP* is een onmiddelijke conclusie uit *P* en *O* ; *O* is een onmiddelijke conclusie uit *P* en *NP* … [Beth, 1948, 48].

Van Fraassen heeft deze opmerking later aangemerkt als het begin van de semantische visie van de analyse van wetenschappelijke theorieën [Van Fraassen,1970, 325-6]. Beth ontwikkelde na de *Natuurphilosophie* zijn gedachten hierover door drie artikelen over de *semantische methode* te schrijven; het eerste in 1948 (slecht 1 pagina !), vervolgens één in 1949 en het laatste artikel verscheen in 1960. Een belangrijk punt is voorts dat hij zijn semantische methode niet in algemene termen van een theorie heeft uitgewerkt, maar met voorbeelden. Dit is een groot verschil tussen Beth en de later te bespreken Van Fraassen.

Het artikel *Towards an up-to-date philosophy of the natural sciences* [Beth, 1949] is illustratief voor het gedachtegoed van Beth ná zijn *Natuurphilosophie*. In dit schrijven, wat een soort *upgrading* is van *Natuurphilosophie*, merkt hij nogmaals op dat er een steeds groter discrepantie ontstaat tussen wetenschap en filosofie. We moeten deze breuk herstellen door een actuele filosofie van de wetenschap te ontwikkelen.

Voor de verandering zal ik eerst, populair gezegd, een 'helikopteruitzicht' geven van de semantische beschouwing van Beth op theorieën; daarna zal ik er wat dieper op ingaan. Het vernieuwende van Beth in het artikel uit 1949, is dat hij zijn structuur voorziet van een formeel semantisch redeneerschema *à la* Tarski. Volgens Beth moeten we onze aandacht *ab initio* richten op wiskundige structuren van de *toestandsruimte* die de theorie ons aanbiedt [Dieks, 2011, 277]. De elementaire uitspraken (zie voorbeeld) moeten gezien worden als overeenkomstige gebieden in die ruimte. Een voorwaarde is wel dat de gebieden in de toestandsruimte (hier de faseruimte) de genoemde uitspraken waar maken [Tarski, p. 21]. In het voorbeeld: het ontwikkelen van meerdere empirische uitspraken gebaseerd op aangereikte meetresultaten. De empirische inhoud samen met de elementaire uitspraken vormen een model van een fysische theorie T, ofwel: het model is een antwoord op vraag I ('Wat is een wetenschappelijke theorie?'). Men ziet dat het eerder genoemde inbeddingsverhaal [§ 2.1] hier ook weer actueel is. De structuur van de toestandsruimten leggen de relaties tussen de diverse regio's vast (en dus ook de elementaire uitspraken en wetten). Deze uitbreiding past dus precies in de tarskiaanse semantische benadering, want de uitspraken worden door meetresultaten waar gemaakt [Dieks, 2011, 277].

Nu het bovenstaande nogmaals, maar met wat meer fysische achtergrondinformatie. Beth gaat uit van de Hamiltoniaan[20] *H*, zoals u weet is dit een energiefunctie die de totale energie van het systeem (in ons geval de Klassieke Mechanica) weergeeft; deze functie is afhankelijk van plaats *x* en moment *p*. In het algemeen is een fysische grootheid *w* ook te schrijven als een functie van *x* en *p* (denk aan snelheid en versnelling). We zien hier duidelijk dat Beth zich vanaf het begin richt op de toestandsruimte (*x*, *p*). Wanneer we aan *w* meetresultaten koppelen krijgen we een *voldoeningsuitspraak*: *w*[*w'*, *t'*]. Deze uitspraak betekent dat een meetgrootheid *w* op een bepaald tijdstip t' een waarde *w'* heeft. Hetzelfde geldt voor de uitspraken *j*, *k* , enz., dus *j*[*j'*, *t'*] en *k*[*k'*, *t'*] enz. zijn ook voldoeningsuitspraken [Beth, 1949, 181]. De genoemde uitspraken vormen gebieden in de toestandsruimte (*x*, *p*). Stel dat we binnen de hemelmechanica waarnemingsresultaten hebben van een planeet, dan kunnen we voorspellende uitspraken doen over die planeet. Wat specifieker (en dat doet Beth juist niet): uitspraken betreffende snelheid en plaats op een bepaald tijdstip t.o.v. andere hemellichamen d.w.z. de uitspraken zijn eigenlijk *baanberekeningen* van die planeet.

Wanneer we de semantische opvatting van de Beth vergelijken met de meer syntactische Beth van de *Natuurphilosophie*, dan valt op dat ze beiden gegrondvest zijn op dezelfde faseruimte

[20] Uitgaande van de Hamiltoniaan krijgen we de eerder genoemde hamiltoniaanse Klassieke Mechanica [§ 1.4, Worrall].

(x, p). Naast het verschil dat 'de Beth uit 1949' direct met de faseruimte werkt, en de meer syntactisch ingestelde Beth uit 1948 pas later in zijn theorie de toestandsruimte toevoegt, is er ook een verschil in natuurkunde; bij de semantische opvatting hebben we gekeken naar de energie van het mechanische systeem (de Hamiltoniaan H), en bij de syntactische visie hebben we de newtoniaanse Klassieke Mechanica gebruikt, met als vb. de harmonisch oscillator. Dit laatste onderscheid zullen we bij Van Fraassen terugzien in het voorbeeld dat over Schrödinger en Heisenberg gaat.

Van Fraassen heeft kritiek op Beth. Volgens hem past Beth weliswaar het modelbegrip toe, maar de toegepaste wiskunde hierin maakt geen deel uit van de fysische theorie (denk bv. aan: $[x+\frac{1}{m}pdt, p-\frac{1}{n}xdt]_{t+dt}$ (22)). De wiskunde in het model heeft enkel de functie om er een raamwerk mee te construeren. Dit alles is niet in overeenstemming met de actuele fundamentele fysica [Van Fraassen, 1970, 337-8]. Van Fraassen wil zeggen dat Beth teveel gespitst is op de algoritmes van de theorie, en niet op het fysische systeem dat over de werkelijkheid gaat. In de volgende subparagraaf, het hoofdgerecht van dit hoofdstuk, zal een stevigere basis van de semantische visie gepresenteerd worden.

2.2.2 Inleiding in de semantische visie van Van Fraassen

Bas van Fraassen[21] (1941) wordt algemeen gezien als de één van invloedrijkste filosofen van de semantische visie. Hij ziet theorieën als extralinguistische structuren, en niet als een systeem van uitspraken. Het volgende citaat spreekt voor zich:

> '..It is hard not to conclude that those discussions of axiomatizability in restricted vocabularies,..reduction sentences and Ramsey sentences, were one and all off the mark solutions.. The main lesson of twentieth-century philosophy of science may well be this: no concept which is essentially language-dependent has any philosophical importance at all' [Van Fraassen, 1980, 56].

Met zijn *On the Extension of Beth's Semantics of Physical Theories* [Van Fraassen, 1970] heeft hij de semantische opvatting op de kaart gezet. De titel van zijn artikel geeft duidelijk aan dat hij de weg volgt die Beth is ingeslagen. Maar, zoals ik hierboven al heb opgemerkt is Beth, evenals Suppes, teveel gefixeerd op de wiskundige structuur van de modellen, en daardoor missen ze de aansluiting met de werkelijkheid. Van Fraassen gaat daar verandering in brengen met zijn meer op de empirie gerichte modellen. In de inleiding is al vermeld dat we Van Fraassen kunnen indelen onder positie I.2 en II.1. De volgende bladzijden zal deze positie verhelderen.

De opzet van mij is om op een systematische wijze zijn artikel te doorlopen, omdat m.i. iedere stap die Van Fraassen maakt toegelicht moet worden. Zo af en toe is er ook een vingerwijzing naar Beth. We gaan aan het werk: Hij benadrukt, in het begin van zijn schrijven [Van Fraassen, 1970, 226-8], dat we de *taal* van de wetenschap moeten onderzoeken. Dit hebben we natuurlijk ook al gezien bij Carnap c.s., echter Van Fraassen heeft een geheel andere aanpak dan deze syntactici. Hij zegt dat er in een wetenschappelijke taal *betekenis-relaties* bestaan, en neemt hiermee eerbiedig afstand van het verschil dat de syntactici maken tussen waarnemings- en theoretischezinnen. Een betekenis-relatie verwijst niet naar een object in de

[21] Vermeldenswaardig vind ik het feit dat Van Fraassen, net als ik, geboren is in het stadje Goes (Zeeland).

wereld, maar naar 'een beeld of gedachte dat het object bij je oproept'. De uitspraak '*Paris* refereert aan Parijs' is een meta-uitspraak, en verwijst naar het concept Parijs, en niet alleen naar de stad als object. De betekenis-relaties kan een wiskundige rol gaan spelen binnen een theorie, we spreken dan van een *betekenis-structuur* die gerepresenteerd wordt in een model [Van Fraassen, 1970, 327-9]. Voor dit model gelden de gebruikelijke voorwaarden dat uitspraken binnen de structuur de theorie waarmaken, en dat een uitspraak analytisch is (is *a priori*). We hebben nu een formele structuur gecreëerd die gebruikt kan gaan worden om uitspraken in een wetenschappelijke theorie te beschrijven.

☼ Als voorbeeld van een betekenis-structuur (wiskundige-structuur) kunnen we het begrip *temperatuur* bekijken. De temperatuurschaal is in dit geval de wiskundige-structuur. Neem: 'niets is warmer dan zichzelf', deze uitspraak is *a priori*[22], omdat de relatie per definitie irreflexief is (aangeduid met '>').

Na deze eerste stap gaat Van Fraassen over tot het formeel beschrijven van fysische theorieën en fysische systemen. Denk hierbij aan systemen met fysische verschijnselen. Een fysische theorie gebruikt een wiskundig model om het gedrag van een bepaald fysische systeem te representeren [Van Fraassen, 1970, 328-9]. Het eenvoudigst is om eerst de Klassieke Mechanica aan te pakken. Evenals Beth maakt Van Fraassen ook gebruik van de toestandsruimte[23] (ook wel *systeemruimte* of faseruimte genoemd), welke een belangrijke pijler vormt van de semantische visie. De toestandsruimte wordt, zoals eerder al is gezegd, gevormd door de fysische toestanden die worden uitgedrukt in een wiskundige ruimte. Een algemene vorm van een deeltje dat zich op een bepaald tijdstip in de toestandsruimte (voortaan aangeduid met Γ), bevindt ziet er als volgt uit: het deeltje heeft positie $q = (q_x, q_y, q_z)$ en impuls $p = (p_x, p_y, p_z)$, we krijgen dan een 6 – dimensionale (euclidische) ruimte, weergegeven door een 6-tuple: $(q_x, q_y, q_z, p_x, p_y, p_z) \in \Gamma$. Zonder meetbare gegevens hebben we niets aan een fysische theorie die uitspraken doet over de werkelijkheid, daarom spreken we net als Beth over elementaire uitspraken over het systeem. Van Fraassen noteert dat als: $U = U(w, r, t)$, waarin w een fysische grootheid voorstelt en r de waarde van w op een zeker tijdstip t is. Wanneer het een tijdsonafhankelijk deeltje betreft is de notatie: $U = (w, r)$. Goedbeschouwd is U een formeel logische formule uit een theorie. In bepaalde toestanden van het systeem heeft w de waarde r, dus de positie van het deeltje ligt vast. Wiskundig gesproken is er een relatie tussen de faseruimte Γ en de elementaire uitspraak U. We schrijven:

$$h:\ U \rightarrow \Gamma \qquad (23)$$

De afbeelding h noemen we de *voldoeningsfunctie*[24], deze functie verbindt de elementaire uitspraken met de toestandsruimte. Voor iedere U is er een gebied $h(U)$ in Γ, of $h(U) \subseteq \Gamma$, ofwel: U wordt ingebed in Γ (we kunnen dus spreken over isomorfie tussen U en Γ). De elementen x uit $h(U)$ geven de actuele toestanden van het fysische systeem aan. Er geldt nu de volgende *waarheidsvoorwaarde (WV)*:

[22] Ik ga in mijn scriptie niet verder in op het onderscheid tussen analytische en synthetische uitspraken. De voorgestelde betekenis-structuur moeten we daardoor *pragmatisch* opvatten.

[23] Hier zien we ook een verschil met Suppes, want deze dichte aan de toestandsruimte geen rol toe binnen zijn theorie.

[24] Het ligt nu misschien voor de hand om van een *waarheidsfunctie h* te spreken, omdat de uitspraak U voldoet in H, maar het geheel is een structuur en nog geen model.

$U(x)$ is waar $\leftrightarrow$ $x \in h(U)$ (24)

De wiskundige structuur, van een theorie, is nu voorzien van meetresultaten (*r*-waarden). Van Fraassen noemt de verzameling van elementaire uitspraken *E* (dus: $U \in E$), en vormt samen met *Γ* en *h* een *semi-geïnterpreteerde taal*; we noteren dat als de structuur:

$L = \langle E, \Gamma, h \rangle$ (25)

Later in mijn scriptie zal ik deze structuur van een wetenschappelijke theorie met de werkelijkheid in verband brengen, m.a.w. we moeten achter de meetresultaten de werkelijkheid kunnen zien; de metingen moeten we interpreteren. Bijvoorbeeld: uit meetgegevens van golflengtes van het licht dat sterrenstelsels uitzenden, blijkt dat de golflengtes langer zijn geworden; er is sprake van een *roodverschuiving*. Fysici zien dat als een verklaring dat het heelal uitdijt.

Voor we beginnen aan het verband tussen de semi-geïnterpreteerde taal (25) en de werkelijkheid, zal ik eerst een aantal voorbeelden bespreken die over de rol van de toestandsruimtes *Γ* binnen theorieën en wetten gaan, dit i.v.m. het grote belang van deze ruimtes binnen de semantische visie. Je kan zeggen dat de aard van een theorie voor een belangrijk deel wordt bepaald door *Γ*.

2.2.2.1 Intermezzo: toestandsruimten nader bekeken

☼ Eerder is opgemerkt dat er toestandsruimten bestaan met of zonder tijdsvariabelen. Bondig geformuleerd: een fysisch systeem kan verschillende toestanden hebben op verschillende tijden, of een systeem blijft in dezelfde toestand, maar de fysische grootheden *w* veranderen [Van Fraassen, 1970, 329-330]. In het eerste geval is de voldoeningsfunctie *h* niet tijdsafhankelijk, maar de locatie in de toestandsruimte *Γ* wel, terwijl in het tweede geval *h* wel tijdsafhankelijk is. Dit verschil zien we duidelijk geïllustreerd in de Quantummechanica. De *golfmechanica* van Schrödinger is gebaseerd op een tijdsafhankelijke toestandsruimte, i.t.t. de *matrixmechanica* van Heisenberg die van een tijdsonafhankelijke ruimte uitgaat.

Voor de duidelijkheid zal ik nu enige terminologie uit de Quantummechanica uitleggen. De toestandsruimte in de Quantummechanica is de Hilbert-ruimte (*complexe vector-ruimte*). Een toestand van het systeem wordt gerepresenteerd door een *toestandsvector x*, welke afhangt van de meetbare grootheid *w*. Een *lineaire operator M*, die op de ruimte 'werkt', geeft samen met vector *x* een andere vector nl. *Mx*. Simpel gezegd: *M* is een wiskundige constructie, een *matrix*, waarmee formules gemaakt kunnen worden. Een bekende vergelijking, waarmee we het *eigenwaarde* (= *r*) *probleem van M* kunnen oplossen luidt:

$$Mx = rx$$

Toelichting: Bij iedere eigenwaarde *r* hoort een eigentoestand van het systeem met een specifieke energietoestand.

Terug naar Schrödinger en Heisenberg. Voor Schrödinger schrijven we i.p.v. *x* nu *x*(*t*), vanwege de tijdsafhankelijkheid van de Hilbert-ruimte. In het geval van Heisenberg is juist de operator *M* tijdsgebonden, dus wordt dit *M*(*t*). Een elementaire uitspraak $U = U(w, r, t)$ in de Quantummechanica kan op deze wijze twee dingen betekenen:

1e, Schrödinger: als $U = U(w, r, t)$ dan $h(U) = \{x(t) : Mx(t) = rx(t)\}$
2e, Heisenberg: als $U = U(w, r, t)$ dan $h(U) = \{x : M(t)x = r(t)x\}$

In de Schrödinger instantane (= onmiddellijke) toestandsruimte beschrijft iedere toestand (d. i. een tijdsafhankelijke functie $\Psi(t)$) een baan in die ruimte. De golfmechanica legt de *posities* van de toestandsvectoren vast, terwijl de matrixmechanica van Heisenberg *energieën* van de toestandsvectoren toepast. Maar de beide theorieën gaan wel uit van een Hilbert-ruimte. Voor het oplossen van quantummechanische vraagstukken kan een fysicus dus gebruik maken van de twee genoemde vergelijkingen.

Van Fraassen behandelt in zijn artikel vervolgens toestandruimtes bij ***fysische wetten***. Hij gebruikt de traditionele driedeling: *coëxistentiewetten*, *opvolgingswetten* en *wisselwerkingswetten* [Van Fraassen, 1970, 330-3]. Ik zal eerst de *niet-statistische* versies van deze wetten toelichten met voorbeelden van Van Fraassen en eigen materiaal. Ten slotte zal ik nog iets zeggen over de *statistische* versies.

☼ Een coëxistentiewet beperkt toegestane gebieden in de toestandruime Γ. Op een zeker tijdstip geeft zo'n wet de verhoudingen aan tussen eigenschappen van het systeem. Een voorbeeld is de wet van *Boyle-Charles* voor een ideaal gas: $PV = RT$, met P de gasdruk, V het volume van het gas, T de temperatuur van het gas, en R een constante. De triple (P, V, T) van reële getallen representeert, op ieder tijdstip, een mogelijke deelverzameling binnen de toestandsruimte (neem: (1, 100, 300) met $R = 1/3$). We zien hier een toepassing van de eerder genoemde betekenis-structuur [p. 30], waarin geen onderscheid gemaakt wordt tussen theoretische- en waarnemingszinnen. Er zijn nog tal van voorbeelden te geven van coëxistentiewetten, bv. over de wet van *Ohm* ($U = IR$; met achtereenvolgens elektrische spanning, stroom en weerstand) is iets soortgelijks te zeggen.

☼ De opvolgingswet beschrijft hoe de toestand van het systeem verandert. We hebben dit gezien bij de golfmechanica van Schrödinger. Een ander voorbeeld is de 1e - wet van Newton ofwel de traagheidswet [Horsten, 2007, 43]: een voorwerp waarop geen krachten werken, is in rust of beweegt lineair met constante snelheid. Stel een voorwerp heeft een tijdsafhankelijke snelheidsfunctie $v(t)$. Als het voorwerp in rust is, dan is een mogelijke positie in de toestandsruimte (x, p) het paar (1, 0) met $x = 1$ en $p = 0$ ($v = 0$ geeft $p = 0$). Of op een gegeven tijdsinterval is bv. $v(t) = 3$. De toestandsruimte wordt dan $(x, 3)$. In de instantane toestandsruimte beschrijft functie $v(t)$ een baan (vergelijk de functie $\Psi(t)$ bij de uitleg over Schrödinger). Een derde voorbeeld is de bij Beth besproken harmonische oscillator met faseruimte (x, p). De toegevoegde deductieregel van Beth (22) vertegenwoordigt het causaliteitsbeginsel uit de Klassieke Mechanica nl. dat een bewegingstoestand van de oscillator op tijdstip t precies de bewegingstoestand op tijdstip $t + dt$ vastlegt.

☼ De derde verzameling wetten bestaat uit de interactiewetten. Bij deze wetten worden regels opgesteld (in de vorm van formules), waarop objecten, of systemen, elkaar wederzijds beïnvloeden. Voorbeelden hiervan zijn de botsingswetten in de Klassieke Mechanica en brekingswetten die in de optica gebruikt worden. Denk bij de laatste groep maar aan de brekingswet van Snellius, welke aangeeft hoe een lichtstraal gebroken wordt van het ene naar het andere medium. In het eerste medium geldt een brekingsindex[25] n_1 en in het tweede

[25] De brekingsindex van een medium is de verhouding tussen de snelheid van het licht in vacuüm en de snelheid van het licht in het medium.

medium is de brekingsindex n_2. Het totale systeem wordt beschreven met de wet van Snellius: $n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$, met θ de brekingshoek in resp. medium 1 en medium 2. Voor het eerste medium heeft de toestandsruimte de gedaante (n_1, θ_1), en voor het tweede medium schrijven we (n_2, θ_2). Een toestandsruimte voor dit systeem kan bestaan uit de quadrupel $(n_1, n_2, \theta_1, \theta_2)$. Een aardig voorbeeld van een interactiewet komt uit de Quantummechanica: twee systemen hebben Schrödinger toestanden gerepresenteerd door $\Psi_1(t)$ en $\Psi_2(t)$ in de Hilbert-ruimten H^1 en H^2. Het complexe systeem dat zij vormen heeft een toestandsvector $\Psi_{12}(t)$ in de *direct product (vector)-ruimte* $H^1 \otimes H^2$. Op dit laatste voorbeeld gaan we niet verder in, het volstaat om te laten zien dat we ook in abstracte theorieën met toestandsruimten uit de voeten kunnen.

☼ We kennen reeds de coëxistentiewetten bij niet-statistische wetten. Bij een *statistische coëxistentiewet* spreken we van een uitspraak over *a priori kansen*. Het komt er neer dat verschillende systeemtoestanden waarschijnlijkheden kunnen hebben. We zeggen dat er een *kansmaat* of *kansverdeling* op de toestandsruimte Γ is [Van Fraassen, 1970, 333]. Een voorbeeld van zo'n wet is de Bolzmann hypothese: ieder microtoestand van een gas heeft een gelijke kans. In het algemeen geldt voor een coëxistentiewet: als $U = U(w, r)$ [p. 30] een elementaire uitspraak is, dan is p de kans dat we een gebied $h(U)$ in de toestandsruimte Γ aan kunnen treffen. De wet kunnen we nauwkeuriger formuleren: de kans dat een fysische grootheid w de waarde r heeft, is $p(h(U))$. Dit mogen we zeggen vanwege de waarheidsvoorwaarde WV (24).

Hebben we te maken met een *statistische opvolgingswet*, dan zijn de uitspraken over een systeem uit te drukken in *overgangskansen*. Beschouw een eindige *Markovketen*; de opvolgende condities van het systeem worden uitgedrukt in een rij kansvariabelen p_1, p_2, .., p_n. De verwachte conditie na de eerste stap is p_1, en na n stappen is de kans p_n. We kunnen ook zeggen: bij een Markovketen hangt de toekomst van een systeem alleen van het heden af, en niet van het verleden. Dat komt omdat de weg die een systeem gevolgd heeft om in de huidige toestand te komen er niet toe doet. De toekomstige overgangen bepalen het gedrag van het systeem in de toekomst. Een toestand in de toestandsruimte kan nu gegeven worden door een matrix M. In M kunnen de verschillende kansen opgenomen worden op een bepaald tijdstip t. Voor de *statische interactiewetten* geldt iets soortgelijks, we gaan hier dan ook niet verder op in.

2.2.2.2 Elementaire uitspraken en de werkelijkheid

We zijn § 2.2.2 geëindigd met introductie van de semi-geïnterpreteerde taalstructuur L (25). Dit betekent: voor een bepaald fysisch systeem X is een wetenschappelijke theorie opgesteld. We kunnen voor die theorie een logische structuur construeren met hierin elementaire uitspraken, een toestandsruimte en een voldoeningsfunctie, dit alles resulteert in de structuur $L = \langle E, \Gamma, h \rangle$. De volgende stap is om van L een model M te maken, want we willen wel dat L over systeem X gaat, ofwel *waar* is. Dit is misschien een beetje verwarrend, want we hebben toch al gezegd dat: '$U(x)$ is waar desda er een actuele toestand x is van $h(H)$' (24), hiermee is de uitspraak U waar, maar de theorie nog niet. Bv. neem een uitspraak uit de Klassieke Mechanica: 'de z - component van de impuls is r' voldoet onder de functie h, want zij ligt in de faseruimte Γ. Wil dat nu zeggen dat de gehele structuur L, waarin U zit, waar is? Nee, dus. We moeten de elementaire uitspraken koppelen aan de werkelijkheid X. Waarbij het begrip 'werkelijkheid' in principe zo ruim mogelijk genomen mag worden, maar vanwege ons project kijken we alleen naar fysische verschijnselen (in ons voorbeeld over 'de z -

component van impuls *p*': de impuls die een voorwerp van 70 kg met een snelheid van 2 m/s krijgt is 140 Ns). Wanneer het verband tussen de elementaire uitspraken en de wereld niet gelegd wordt blijft het toch een beetje 'luchtfietserij'.

Van $L = \langle E, \Gamma, h \rangle$ een model M maken gaat dan als volgt: ga uit van een fysisch systeem X en reserveer d.m.v. van de zgn. inbeddingsfunctie *loc* een gebied in $h(U)$. We krijgen:

$$M = \langle loc, X \rangle \tag{26}$$

met $loc(X) \in h(U)$. De formele semantiek van L heeft een definitie die waar maakt:

$$U \text{ is waar in } M = \langle loc, X \rangle \leftrightarrow loc(X) \in h(\Gamma) \tag{27}$$

Ook de volgende beweerzin geldt voor formele semantiek:

$$U \text{ is een geldige zin in } L \leftrightarrow U \text{ is waar in ieder model van } L \tag{28}$$

In bovenstaande definities is duidelijk de empirische notie van Van Fraassen te zien. Ik breng nog even vraag II, met hierop het antwoord in herinnering nl. 'Wat voor ware kennis geeft ons een theorie over de werkelijkheid ?' Met het empirisch antwoord 'Kennis van de werkelijkheid komt uit onze zintuigelijke waarneming'. In het volgende citaat verwoord Van Fraassen het zelf (*attentio*: Van Fraassen's uitleg voor het begrip empirisch toereikend):

> 'To present a theory is to specify a family of structures, its *models*; and secondly, to specify certain parts of those models (the *empirical substructures*) as candidates for the direct representation of observable phenomena. The structures which can be described in experimental and measurement reports we can call *appearances*: the theory is empirically adequate if it has some model such that all appearances are isomorphic to empirical substructures of that model'
> [Van Fraassen, 1980, 64].

Van Fraassen zegt dus dat we het karakter van een (ware) theorie kunnen beschrijven met een verzameling modellen [Suppes p. 22]. Een vergelijking met Beth is mogelijk. Bij de semantische opvatting van Beth hebben we het iedere keer gehad over voldoeningsuitspraken die op de toestandsruimte van toepassing zijn. Voor een *verband* met een theorie die over de werkelijkheid gaat was weinig ruimte. Eigenlijk kunnen we Beth in dezelfde hoek plaatsen als Suppes, die ook de werkelijkheid links liet liggen en alleen oog had voor datastructuren (luchtfietserij..). Tot besluit een eenvoudig voorbeeld om het verschil tussen Beth en Van Fraassen toe te lichten:

☼ Beschouw de elementaire kleurentheorie, en construeer hier een model van [Van Fraassen, 2014, 17]. In dit model wordt het kleurenspectrum beschreven. Een eigenschap C maakt deel uit van het spectrum (C is blauw, C is groen enz.). Een elementaire uitspraak U wordt in het kleurenspectrum opgenomen. We schrijven: (C, U). En de semantische implicatie kan ingevuld worden door naar 'iets' in de natuur te kijken. Het natuurverschijnsel 'iets is blauw' (C, blauw) is een systeemuitspraak over systeem X (Beth heeft het niet over systemen, maar alleen over elementaire uitspraken met voldoeningsfuncties). Dit is een ware uitspraak als er in het model een locatie bestaat met blauw erin, in ons geval het kleurenspectrum. Iedere systeemuitspraak reserveert een regio binnen de logische ruimte (d.i. de toestandsruimte of het spectrum). De oplettende lezer ziet hier een verwijzing naar het begrip isomorfie in het bovengenoemde citaat. Het is duidelijk dat de conjunctie bv. (C, rood) $\wedge$ (C, blauw) niet mogelijk is in de logische ruimte. De uitspraak (C, .. ∧ ..) is een leeg gebied. Opmerking: de logische ruimte vormt een Boole-algebra d. i. een algebraïsche structuur met de operatoren conjunctie, disjunctie en negatie.

In figuur 1 ziet u hoe de semantische visie met zijn modellen er uit ziet.

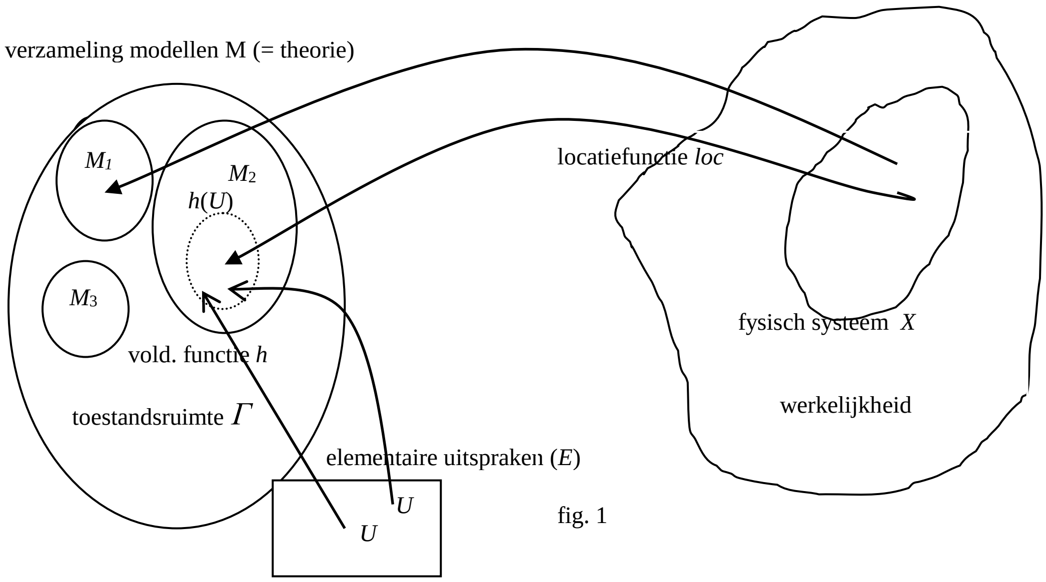


fig. 1

Ik recapituleer: Beth is in zijn semantische visie vooral geïnteresseerd in algoritmes die in de theorie te vinden zijn, en die d.m.v voldoeningsuitspraken in de toestandsruimte geplaatst worden. De werkelijkheid wordt in zijn visie niet opgenomen. Van Fraassen legt ook de nadruk op de toestandsruimte Γ in een wetenschappelijke theorie, maar komt met het idee van de locatiefunctie *loc* om fysische verschijnselen in de toestandsruimte op te nemen. Van Fraassen is dus een echte empirist, terwijl Beth nog teveel met de wiskunde binnen de fysische theorieën bezig is.

2.2.3 Reacties op de semantische visie

Als eerste wil ik het realistische bezwaar tegen de semantische visie van Demopoulos bespreken. Hij richt zich tegen het verschil tussen empirische toereikendheid en waarheid waar Van Fraassen het in het bovengenoemde citaat over heeft [Demopoulos, 2003, 390]. Demopoulos maakt gebruik van het 'Newman's bezwaar' dat eerder in deze scriptie besproken is bij Russell en Maxwell. Zijn onderbouwing gaat als volgt: stel bij een theorie T is er sprake van empirische toereikendheid, en (dus) met één van de partieel abstracte modellen is er een één op één relatie met de wereld of het *bestemde domein W* van waarneembare en onwaarneembare entiteiten. Definieer nu de relatie R op het domein T^W bv.

$$\langle a,b\rangle \in R \quad \leftrightarrow \; \langle \varphi^{-1}a,\varphi^{-1}b\rangle \in R' \qquad (29)$$

Ik breng in herinnering de equivalentierelaties (3) en (20). De rechtse term behoort tot T^M, d. i. het domein van model M . De functie φ is de één op één relatie van W naar M, met dien verstande dat alleen het waarnemingsdeel van de identiteitsafbeelding van $W \cap M$ beschouwd wordt. Dit transformeert *iedere* theorie, die de fenomenen uit de wereld redt door ze op te nemen in een model, in een ware theorie. Dat komt, omdat er een lid van de klasse modellen is die overeenkomt met een deel van de werkelijkheid.

Van Fraassen brengt hier tegen in dat een wetenschappelijke theorie T in logische zin niet compleet is. De reden daarvoor ligt in het feit dat natuurlijke talen, waaruit theorieën deels bestaan, *begrepen* moeten worden en niet alleen logisch geanalyseerd dienen te worden [p. 30]. Er zijn, in die zin, dus theoretische uitspraken die zowel *waar* als *niet waar* zijn; een uitspraak over het onwaarneembare kan soms bevestigd worden of juist niet. Een voorbeeld: in het ene experiment wordt de bewering: 'licht bestaat uit deeltjes' gestaafd, terwijl in een ander experiment deze uitspraak juist wordt ontkracht, omdat licht een golfverschijnsel blijkt te zijn. Demopoulos blijft volgens Van Fraassen hangen in de Logisch Positivistische overtuiging dat theoretische uitspraken op zichzelf niet te begrijpen zijn, en (dus) omgezet moeten worden in waarnemingszinnen [Van Fraassen, 2014, 35].

Na dit uitstapje richten we onze aandacht op kanttekeningen die een aantal wetenschapsfilosofen plaatsen bij het voorstellen, *representeren*, van de inhoud van de semantische visie (voorlopig <u>het</u> antwoord op vraag I: 'Wat is een wetenschappelijke theorie?'). Hun kritiek op de semantici heeft *grosso modo* te maken met een gebrek aan belangstelling voor de werkelijkheid. We weten inmiddels dat modellen van fysische theorieën in de semantische visie o.a. bestaan uit data, algebra, analytische functies, differentiaal meetkunde en verzamelingstheoretische wiskunde. Maar hoe is bv. Bohr's model van een atoom in verband te brengen met zo'n abstract Tarskiaans model? Je kunt zeggen wat je wilt over de syntactische visie, maar deze theorie zei tenminste nog *iets* over de werkelijkheid, omdat de syntactici juist gericht waren op waarnemingsuitspraken. Hoe kunnen we bij de verzamelingstheoretische- en bij de semantische visie, die met abstracte structuren werken, de werkelijkheid terug zien [Saunders & McKenzie, 2015, 151]? Beide opvattingen van wat het karakter van een wetenschappelijke theorie werkelijk is, zijn alternatieve visies om de interne structuur van een theorie bloot te leggen. Zowel de verzamelingstheoretische- als de semantische visie onderzoeken niet de kwestie van hoe een theorie moet worden toegepast [Hughes, 1996]. 'Toegepast' moet hier worden opgevat als 'verwezenlijken' van een theorie. Het komt er op neer dat, volgens de critici van o.a. de semantische visie, er modellen van een theorie gemaakt moeten worden die de fenomenen met wiskundebeschrijvingen vast leggen. Kernachtig uitgedrukt: het model is de theorie van de fenomenen [Cartwright, 1983, 159]. De semantische visie is hiervoor niet de geschikte kandidaat volgens deze groep filosofen.

De eerder genoemde filosofen Hughes en Cartwright, maar ook Giere, Suppe en Van Fraassen ontwikkelden ieder op hun manier antwoorden op de vragen die de semantische visie oproept omtrent de vraag: kunnen we kennis van de werkelijkheid verkrijgen door de modellen? Er is evenwel bij hen een gezamenlijke aandacht voor de representatie van modellen van specifieke fenomenen tegenover de *gehele* klasse van modellen van een theorie. Voor de lijn in mijn verhaal is het voldoende dat ik enige uitleg van Van Fraassens *representatie-visie* geef, omdat deze mooi aansluit bij zijn semantische opvatting van theorieën, en bovendien ingrediënten bevat van een aantal andere filosofen. Van Fraassen ziet de representatie-visie als opvolger van de semantische visie [Van Fraassen, 2014, 39]. In zijn betoog legt hij uit *hoe* we de inhoud van een model moeten *gebruiken*. Bijvoorbeeld: we nemen de kwadratische vergelijking $x^2 - 5x + 6 = 0$ en zeggen dat $x = 3$ of $x = 2$ de oplossingen zijn. Je *interpreteert* '$x = 3$ of $x = 2$' als oplossingen van de vergelijking. Anders gezegd '$x = 3$ of $x = 2$' *representeren* de oplossingen van de vergelijking. Het komt er volgens Van Fraassen op neer dat representatie en interpretatie twee kanten van dezelfde medaille zijn [Van Fraassen, 2014, 38]. Dit betekent dat als de representatie verandert, de interpretatie hierin mee gaat. We komen de betekenis van beide begrippen in allerlei situaties tegen. Bijvoorbeeld: Biografieën over Wittgenstein tonen aan dat hij een opvliegend karakter had; men representeert Wittgenstein als opvliegend, omdat hij als onderwijzer op een lagere school kinderen sloeg. Je kunt 'het kinderen slaan' ook interpreteren als 'Wittgenstein was opvliegend'. Hetzelfde geldt voor modellen: Een model is een model van een theorie, want we interpreteren de vergelijkingen in een theorie op de juiste manier; data wordt gebruikt in formules. En een model is een model van de fenomenen, want het model representeert de fenomenen. Beide beweringen zijn cruciaal: de tweede weglaten levert meta-wiskunde op, en als je de eerste negeert dan vraag je je af waar de theorieën zijn gebleven [Van Fraassen, 2014, 42]. We zullen er geen doekjes omwinden, Van Fraassen ziet het representeren van een model van fenomenen als het representeren van een datamodel. Opmerkelijk in Van Fraassens invulling van wat hij onder de representatie-visie verstaat, is dat hij het begrip interpreteren zwaar inzet. Interpreteren heeft een subjectieve connotatie, want je *vertaalt* een bepaalde waarneming, formule, tekst enz. op een persoonlijke wijze. Zodoende begeven we ons weer op het mentale vlak m. n. het intuïtieve dat juist de neokantianen hebben trachten te vermijden [§ 1.1]. We moeten wel bedenken dat zij een absoluut realistisch standpunt innemen en Van Fraassen een empirisch[26] structureel uitgangspunt verdedigt. Het interpreteren is nauw verwant met het begrijpen (toepassen) van wetenschappelijke theorieën en niet het louter logisch analyseren ervan. Tot zover de representatieve visie, en zoals te verwachten…ook hier is weer kritiek op.

2.2.4 Frigg's problemen met de wetenschappelijke representatie

In *Scientific Representation and the Semantic View of Theories* [Frigg, 2006] schrijft Roman Frigg dat een model ons kan helpen om het karakter van de werkelijkheid te begrijpen, tenminste als we aannemen dat het model een deel van die werkelijkheid representeert. Frigg noemt dat deel het *doelsysteem*[27]. De semantische visie, met zijn concentratie op modellen, is tegenwoordig de belangrijkste theorie[28] als het gaat om het karakteriseren van wetenschappelijke theorieën. Er zijn volgens de Frigg echter problemen die te maken hebben met de semantische visie m.b.t. wetenschappelijke representaties. Hij noemt er drie[29] [Frigg, 2006, 50].

1. Er is een moeilijkheid die draait om de semantiek van de modellen: Om welke reden is een model een representatie van 'iets uit de werkelijkheid'? Bijvoorbeeld: vergelijk een model met een schilderij; de lijnen, stippen, vlakken en kleuren van een schilderij representeren iets uit de werkelijkheid. Op welke manier representeert een model op de *juiste* wijze het doelsysteem? Frigg noemt dit het *raadsel van representatie*.

2. Het tweede probleem heeft ook te maken met de semantiek. Frigg kaart de volgende kwesties aan: de verschillende *stijlen* van wetenschappelijk representeren (het *feitelijke probleem*), en eveneens het onderscheid van wetenschappelijke acceptabele- en onacceptabele stijlen (het *normatieve probleem*). Neem ter illustratie, specifiek gericht op de feitelijkheid van de stijl, het representeren van de Klassieke Mechanica. Dit representeren kan in twee stijlen: op de newtoniaanse wijze, maar ook met het Hamilton-formalisme. Bij de normatieve

[26] Van Fraassen heeft een soort empirisme ontwikkeld dat bekend staat onder het *constructief empirisme* (*CE*). Het CE zegt dat wetenschap zowel een realistisch semantische aard heeft, alsmede dat het doel van de wetenschap het construeren van empirisch toereikende theorieën is.
[27] Het doelsysteem bestaat natuurlijk uit fenomenen.
[28] De syntactische visie kan ook een representatie van wetenschappelijk theorieën zijn, maar daar gaat hij niet op in.
[29] Frigg noemt probleem 3 als eerste, omwille van de opbouw van mijn thesis heb ik het veranderd.

variant van stijl geldt dat het wetenschappelijk representeren van theorieën volgens de gangbare regels moet geschieden; er wordt een wet voorgeschreven.
3. De *ontologie* van de modellen. Wat zijn modellen eigenlijk voor 'objecten'? Zijn het niet-linguïstische structuren? Frigg zet hier vraagtekens bij.

Mooi, de problemen van de relatie tussen de semantische visie en representatie zijn benoemd. Maar let op: in het verdere verhaal moeten we ons goed realiseren dat Frigg in het kamp van de realisten ingedeeld moet worden, en dus zijn pijlen richt op de empiristen.

We gaan nu de bijzondere relatie tussen een model en representatie van de werkelijkheid scherp stellen, en kijken met Frigg mee of de genoemde problemen op te lossen zijn.

In de vorige secties is naar voren gekomen dat er eigenlijk twee varianten van de semantische opvatting zijn: de verzamelingstheoretische visie (ik heb deze variant eerder de afgeslankte semantische visie genoemd) en de semantische visie. Frigg legt bij de eerste visie de nadruk op de *analogie* tussen een model en het doelsysteem; hij heeft hier meer Giere [§ 2.1.1] op het oog dan Suppes [§ 2.1]. Bij de semantische visie ligt het accent op *isomorfie* tussen een model en het doelsysteem. Het zwaartepunt van de genoemde problematiek legt Frigg neer bij de isomorfie variant van o.a. Van Fraassen, omdat die variant onder filosofen de grootste aanhang heeft. In deze visie stelt een model *M* een structuur voor. De structuur bestaat bv. uit: gegevens, logica, wiskunde en wetenschappelijke taal. Verder is er natuurlijk het doelsysteem *X* (vergelijk het fysische systeem *X* bij Van Fraassen [p. 34]), dat bestaat uit observeerbare fenomenen en die op hun beurt weer beschreven kunnen worden in meetrapporten. Tussen de verzameling meetwaarden kunnen relaties ontdekt worden die we als een structuur aanmerken [p. 34: citaat]. Voor deze semantische visie komt Frigg tot het volgende logische verband [Frigg, 2006, 53]:

Een wetenschappelijk model M is een structuur en het representeert doelsysteem X desda X is isomorf met M (30)

Kijken we naar het eerste probleem (het raadsel van representatie) dat Frigg noemt, dan zijn er over deze beweerzin twee dingen te zeggen:
(a) Representaties beschikken niet over de juiste formele eigenschappen, want de reflexiviteit en symmetrie die een kenmerk zijn van isomorfie komen we niet tegen bij representaties. Zo representeert een schilderij een deel van de werkelijkheid, maar de werkelijkheid representeert niet het schilderij, m.a.w. representatie is geen symmetrische relatie.
(b) Een structuur kan geïnstantieerd worden in verschillende systemen, maar de structuur kan maar één doelsysteem representeren. Vergelijk de heliocentrische theorie met het atoommodel van Bohr. Beide worden beschreven door hetzelfde model, maar het heliocentrische model representeert alleen het zonnestelsel en niet de atomen.
Om de problemen rond de representaties op te lossen komt hij met een aanvulling op beweerzin (30) [Frigg, 2006, 54]:

De structuur M representeert het doelsysteem X desda X is isomorf met M , en M is bestemd voor een gebruiker om X te representeren (31)

Frigg is het ermee eens dat gebruikers een belangrijke rol spelen bij wetenschappelijke representaties, maar alleen zeggen dat een model bedoeld is om te gebruiken door een wetenschapper is te simpel. Het is net als met woorden: alleen zeggen dat woorden naar dit of dat verwijzen is niet genoegen; natuurlijk doen ze dat. We moeten ook de context weten waarin de woorden worden gebruikt. Bij representaties is het net zo, in het algemeen moeten we begrijpen *waarom* een wetenschapper structuur *M* gebruikt om het doelsysteem *X* te representeren, en daarover zegt de stelling niets. Hier wil ik Van Fraaassen ten tonele voeren, omdat die nu juist het verband tussen interpretatie en representatie heeft gelegd en op die manier zegt *waarom* model *M* doelsysteem *X* representeert [p. 37].

Nog één punt moeten we toelichten i.v.m. het eerste probleem (de gespannen verhouding tussen model en representatie van iets uit de werkelijkheid). Het doelsysteem *X* heeft nl. geen unieke structuur, maar kan verschillende niet- isomorfe structuren hebben. Dit hangt af van op welke manier we het systeem beschrijven (zie ook onderstaande voorbeeld). Plausibel uitgedrukt:

> ‘But the physical world does not come sliced up with the pieces having labels on their sleeves saying ‘this is an individual’ or ‘this is a relation’ [Frigg, 2006, 56].

☼ Het methaan-molecuul (CH_4) bestaat uit vier waterstof atomen die een regelmatig viervlak vormen (symmetrische tetraëder). Precies in het middel van het viervlak bevindt zich een koolstof atoom. Het onderstaande model zien we vaak terug in de leerboeken:

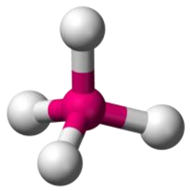


fig. 2

Frigg bekijkt alleen de *vorm* van het molecuul, en beschrijft twee structuren.
-De 1e structuur bestaat uit vier hoekpunten (de atomen). Zij vormen de verzameling, het *domein*: $\{A, B, C, D\}$. De *relatie L* is: L_{XY}, ‘*X* en *Y* zijn verbonden met een lijn’. We krijgen de volgende verzameling van lijnen: $\{(A,B),(A,C),(A,D),(B,C),(B,D),(C,D)\}$. Zie fig. 3:

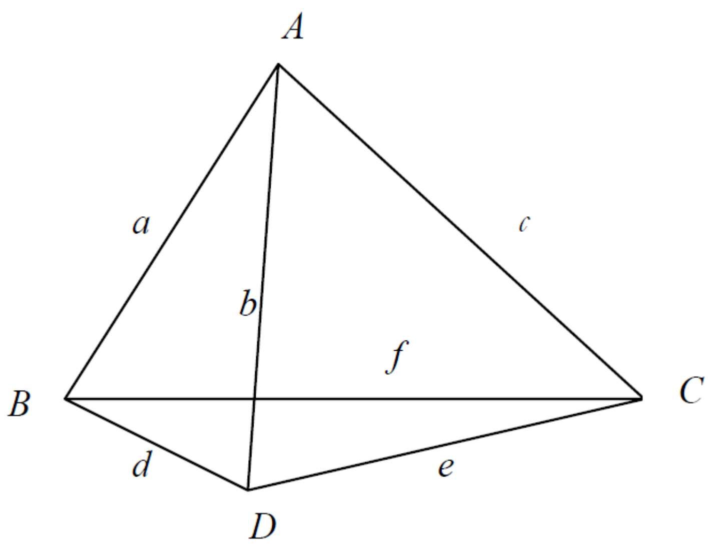


fig. 3

-Bij de 2e structuur worden de lijnen *a, b, c, d, e, f* als objecten gezien, dit geeft de verzameling $\{a,b,c,d,e,f\}$. De atomen vormen de relaties tussen de lijnen. Definieer: I_{xy}, ‘snijpunt van *x* en *y*’. De verzameling van de relaties wordt nu:

$\{(a,b),(a,c),(a,d),(a,f),(b,c),(b,d),(b,e),(c,e),(c,f),(d,f),(d,e),(e,f)\}$. Dit ziet er natuurlijk ingewikkelder uit, maar met de nodig uitleg, zoals $(a,b)=(a,c)$ enz. is deze structuur ook van toepassing op het methaan-molecuul. We mogen in het algemeen dus niet spreken van dé structuur van een systeem: de twee structuren zijn niet isomorf, want er is sprake van 4 vs 6 objecten.

Tot slot van zijn relaas over representaties van 'zijnden' en modellen heeft Frigg nog een laatste belangrijke opmerking die hij niet verder uitwerkt: modellen moeten fenomenen representeren, en geen data. Deze bewering is tegen Suppes [§ 2.1], en in mindere mate tegen de empirist Van Fraassen [§ 2.2.2], en zal ik in de volgende sectie (over Muller) uitwerken.

We gaan het nu nog even hebben over het tweede probleem; het probleem van stijl. Ons uitgangspunt is weer beweerzin (30). In de feitelijke variant van stijl kunnen we zeggen dat isomorfie een mogelijkheid is om een theorie te representeren, maar zeker niet de enige. Veel filosofen trekken dit probleem in de normatieve sfeer, en zeggen dat isomorfie de juiste wetenschappelijke stijl van representeren is. Dat deze opvatting niet klopt hebben we al eerder gezegd (de formele eigenschappen zijn verschillend). Is een ander morfisme dan geen oplossing (bv. *homomorfisme*)? Nee, beweert Frigg. We blijven 'zitten' met de verschillende formele eigenschappen die eerder zijn genoemd [Frigg, 2006, 60].

Het ontologische probleem is het laatste vraagstuk dat nog behandeld moet worden. Frigg zegt niet dat een model zonder structuur kan, maar dat er *wetenschappelijke omschrijvingen* aan een model moet worden toegevoegd om een werkbare representatie mogelijk te maken [Frigg, 2006, 62]. Hij stelt dat modellen structuren bevatten, maar modellen zijn niet te reduceren tot structuren [Frigg, 2006, 53]. U begrijpt: een tafel bestaat uit 4 houten balken en een stuk plaathout, maar 4 houten balken en stuk plaathout vormt niet noodzakelijkerwijs een tafel (het geheel kan ook een kunstwerk zijn). Tenslotte formuleert hij weer een nieuwe stelling:

De structuur M representeert het doelsysteem X desda X is isomorf met M, met betrekking tot omschrijving D (32)

Maar Frigg heeft met deze beweerzin ook weer moeite, omdat die te vaag is. De toevoeging *D* leidt ons niet naar een consistente analyse van wetenschappelijke representaties, omdat de relaties tussen structuren, beschrijvingen *D* en de werkelijkheid (ook) niet goed begrepen kunnen worden [Frigg, 2006, 62]. In die zin kunnen we verwijzen naar de opmerking van Frigg over dat modellen fenomenen en geen data moeten representeren (Dit probleem vormt een belangrijk punt in de bespreking van Muller's structuur-visie). We zien hier volgens mij duidelijk de realist Frigg aan het werk, die naarstig op zoek gaat naar een model van een (verbeterde) theorie die een juiste beschrijving van de werkelijkheid weergeeft, en niet alleen de empirische inhoud als fenomenen beschouwt door de data op een acceptabele manier te interpreteren. Als voorbeeld kunt u het elektron nemen: Een elektron kan op verschillende manieren beschreven worden (deeltje, golfje,..). Een datastructuur representeert maar een gedeelte van wat een elektron werkelijk is. Je kunt wél zeggen dat ten minste één structuur, met omschrijvingen, in een model een deel van een doelsysteem *X* representeert. Er is dan tussen een deel van het doelsysteem *X* en de structuur sprake van isomorfie[30].

[30] Voor we het weten belanden we in het zgn. realismedebat [p. 51].

We gaan vervolgens onderzoeken of de genoemde problemen opgelost kunnen worden met de analogie variant van de semantische visie. Frigg geeft het volgende verband tussen model en doelsyteem [Frigg, 2006, 60]:

Model M representeert het doelsysteem X desda M is analoog met X (33)

Deze versie is eenvoudiger. De eerste voorwaarde is dat het model *M ongeveer* lijkt op doelsysteem *X*. De tweede voorwaarde is dat er geen voorgeschreven ontologie nodig is, zoals bij de isomorfie versie. Als er al een soort ontologie bestaat, dan moet gedacht worden aan een klasse van systemen die uitgedrukt wordt in wiskundige termen. Deze alternatieve vorm geeft ook geen antwoorden op de drie problemen, dat komt o.a. omdat *M* niet de goede logische eigenschappen bezit (het 1^{e} probleem). Het is bij analogie zelfs zo, dat wiskunde in de modellen voor representaties niet eens nodig is; alleen een acceptabele beschrijving van '*M* lijkt op *X*' is voldoende, maar voor een juiste representatie onvoldoende. Het is een open deur door te beweren dat alles op een zekere manier op iets anders lijkt. Je moet dan wel iedere keer met theoretische hypothesen het model expliciteren [§ 2.1.1], m.a.w. de bewering (33) op zichzelf is leeg, maar moet gevoed worden met empirische gegevens. Hiermee is het probleem van stijl zowel in de feitelijke als de normatieve variant (het 2^{e} probleem) niet opgelost, want er is een diversiteit van omschrijvingen nodig om de analogie te verdedigen. De uitleg lijkt op gespannen voet te staan met wat in § 2.1.1 over modellen beweerd werd, dat volgens Giere modellen moeten worden gezien als abstracte entiteiten (de ontologische opvatting van Giere). Echter, bedenk dat het in die paragraaf niet ging over representaties van de werkelijkheid, maar simpelweg over de manier waarop data moest worden 'omgezet' naar verzamelingstheoretische structuren.

In het licht van de analogie tussen een model en de werkelijkheid is het misschien goed om eens kort terug te kijken naar de syntactische visie. In een formeel analogon (model) zouden dan *sommige* proposities dezelfde formele structuur moeten hebben als het doelsysteem *X*. Dit idee is een interpretatie van Achinstein, wanneer die zegt dat *sommige* proposities in het analogon van een wetenschappelijke theorie dezelfde structuur moeten hebben [Achinstein, 1964, 337]. Hiermee is het probleem van een vage formulering bij de analogie variant van de semantische visie opgelost, maar we zitten natuurlijk wel met verschillende uitgangspunten voor wat betreft het karakteriseren van een theorie. Ik ga hier nu niet verder op in, omdat de 'versmelting' van de syntactische visie en de semantische visie in het volgende hoofdstuk wordt besproken.

HOOFDSTUK 3
Een synthese van de syntactische- en semantisch visie

In dit laatste hoofdstuk zal ik het artikel *Reflections on the revolution at Stanford* [Muller, 2011] behandelen. Hierin worden de taalafhankelijke structuren en de voornamelijk op wiskunde gebaseerde structuren samengesmeed tot een robuuste theorie: de *structuur-visie*; een *structuralistische visie*. F.A. Muller (1962) verwijst in de titel van zijn artikel naar Suppes die in Stanford de aanzet gaf tot de verzamelingstheoretische variant van de semantische visie, en die een reactie was op de nadelen van de syntactische visie. Hij zegt zelf dat zijn theorie een *barokke*[31] soort synthese is van I.1 & I.2, en opgevat moet worden als *kritisch progressief* en niet als *kritisch conservatief* [Muller, 2011, 88]. Het epistemologisch uitgangspunt is het structuralisme [ad II.3], omdat het accent komt te liggen op de structuur van de natuur. Bij die structuur worden de relaties tussen de *zijnden* beschreven.

3.1 Herhaling syntactische- en verzamelingstheoretische visie

Muller begint zijn artikel met de Logisch-Positivistische visie (de syntactische visie) betreffende de aard van een wetenschappelijke theorie T te beschrijven[32]. De Logisch-Positivisten ontwikkelden een formeel deductief systeem F_T gebaseerd op een elementaire formele taal L_T [§ 1.2.1]. Omdat we een wetenschappelijke theorie analyseren, moeten er aan de wiskundige structuur F_T nog waarnemings- en theoretische predicaten toegevoegd (resp. Pr(*W)* en Pr(*Th*)) worden. Tenslotte moeten we nog een verzameling, door wetenschappers, geverifieerde waarnemingszinnen *W*(T) maken. Uiteindelijk leidt dit tot de *Formeel-Taalkundige Visie* (d.i. de syntactische visie of *Formeel-Linguistische Visie*), of de *L-Visie*:

$$\langle F_T, \mathrm{Pr}(W), \mathrm{Pr}(Th), W(\mathrm{T}) \rangle \qquad (34)$$

Aansluitend bespreekt hij kort de opvatting van Suppes [Muller, 2011, 91]. Zoals we reeds besproken hebben in § 2.1 is de verzamelingstheoretische visie ook geïnspireerd door de moderne logica, vooral door de modeltheorie van Tarski. Het systeem van Suppes bestaat uit informele taal van een geaxiomatiseerde verzamelingstheorie, zeg $L_\in$. Hieraan worden geschikte verzameligstheoretische predicaten *T* (ook wel de *Suppes-predicaten* genoemd) vanuit T toegevoegd. Het systeem wordt een (structuur) model *M* genoemd van T. De gehele theorie bestaat nu uit een verzameling modellen *M* met verschillende inhouden; de verzameling is natuurlijk weer *T*. Een wetenschappelijke theorie T gaat over fenomenen, dus om T *te redden* moeten datastructuren van T, te weten *G*, in een (structuur) model $M \in T$ worden ingebed. Muller noemt de visie van Suppes de *Informele-Structurele Visie* (d.i. de verzamelingstheoretische visie), kortweg de *M-Visie*:

$$\langle T,\ G(\mathrm{T}) \rangle \qquad (35)$$

---

[31] Barok komt van *grillige parel*; in de context van de structuur -visie vat ik het op als ‘een verschillende manier van denken’.
[32] Muller’s taalgebruik is over het algemeen vrij technisch, daarom zal ik een aantal (logische) afleidingen van zijn theorie onbesproken laten.

We vergelijken nog even de *L*-Visie (34) met de *M*-Visie [Muller, 2011, 93-4]:

(a) Het verschil tussen waarnemings- en theoretische zinnen is problematisch [H.2].
(b) Het formaliseren van een theorie is bijna onuitvoerbaar [H.2].
(c) De *M*-Visie is vele malen handiger om wetenschappelijke theorieeen te karakteriseren. Er zijn genoeg voorbeelden te geven van biologische, economische en scheikundige theorieën die met deze visie beschreven zijn. De *L*-Visie blijft wat dat betreft met lege handen staan.
(d) Wetenschappers zijn model-bouwers, en geen axiomatiseerders of bewijzers van stellingen. De *M*-Visie is, in vergelijking met de *L*-Visie, veel meer gericht op de wetenschappelijke praktijk.
(e) Bij de *L*-Visie moet de wiskunde waaruit een wetenschappelijke theorie bestaat eerst worden geformaliseerd enz., en dan worden opgenomen in F_T. Bij de *M*-Visie is deze omslachtige manier van werken niet nodig, omdat we alle wiskunde direct op kunnen nemen in de geaxiomatiseerde verzamelingsleer.

3.2 De klassieke wetenschappelijke theorie

Opvallend in het bovenstaande rijtje is het ontbreken van de fenomenen (de *zijnden*). Voorbeelden van zijnden zijn: objecten, gebeurtenissen, structuren, processen,… Deze zijnden moeten op een of andere manier worden opgenomen in Mullers visie. De eerste stap in het proces van de ontwikkeling van de structuur visie is het beschrijven van Aristoteles' *klassieke model van wetenschap* (zeg Ω). Dit klassieke model/ideaal om een wetenschappelijke theorie te doorgronden (vraag I) moet veel ruimer opgevat worden dan het huidige beeld dat we van wetenschap hebben. Het klassieke model zegt bv. niets over de relatie tussen model en data (!). Hieronder som ik eerst de *bouwstenen* op van een *klassieke wetenschappelijke theorie* Π [Muller, 2011, 95]:

$$\Pi \equiv \langle \Pi_p, \Pi_c \rangle \qquad (36)$$

met:
Π_c : is de verzameling concepten (begrippen).
Π_p : is de verzameling proposities; vaak de principes van Π genoemd.

Vervolgens voegen we twee kennisvoorwaarden aan structuur Π toe:

Alle $p \in \Pi_p$ zijn waar, en alle $p \in \Pi_p$ zijn universeel en nodig.

De volgende stap is dat we zeggen dat er een kennisgemeenschap *E* bestaat die samengesteld is uit mensen met enige wetenschappelijke kennis; *E* samen met Π vormt structuur $\langle \Pi, E \rangle$.
Ten slotte formuleren we twee condities die we aan Π en bovenstaande twee voorwaarden toevoegen:

Elke $p \in \Pi_p$ is bekend bij een aantal $e \in E$, en elke $c \in \Pi_c$ is bekend bij een aantal $e \in E$.

Het geheel vormt het *klassieke model/ideaal van wetenschap* Ω. De aristoteliaanse opvatting van wetenschap is gebaseerd op een bijzondere soort *inductie*[33]; de overtuiging van een verwantschap van de menselijke geest met de absolute zijnden [p. 25]. Door een oppervlakkige beschouwing van de verschijnselen kunnen we intuïtief opklimmen tot de diepste oorzaken van de verschijnselen [Beth, 1948, 24]. Het klassieke model Ω was vele eeuwen de standaard, maar heeft niets van doen met wat we tegenwoordig *wetenschappelijke kennis* noemen. Van de *vanzelfsprekende propositie*s Π_p, die door een aantal mensen *E* gebruikt werden als een garantie voor kennis, keerde men zich pas in de 19^e eeuw af. In die tijd kwam met name de meetkunde met voor *iedereen* duidelijke axioma's[34]. De 'fundamentele' *proposities* werden sindsdien niet meer serieus genomen. Wat betreft de verzameling van concepten Π_c formuleerde Evert Beth nog een eis Π_c: de *betekenis* van de termen in Π_c moet *direct duidelijk* zijn, zodat geen verdere uitleg nodig is [Beth, 1968, 31-2]. We kunnen van het klassieke model van wetenschap Ω een *moderne versie* maken door in Π_p de door iedereen aanvaarde axioma's te gebruiken, en de door Beth voorgestelde eis aan Π_c toe te voegen.

Het moge duidelijk zijn dat de *L*-Visie (de syntactische visie) een klassieke wetenschappelijke theorie Π is, want de predicaten in de *L*-Visie gaan over zijnden van theorie T, en we kunnen zien dat $L_\mathbf{T}$ onder Π_c en Π_p valt, omdat de formele taal L_T het concept vormt, en de zinnen in L_T de proposities in Π_p zijn. Voor de *M*-Visie (de verzamelingstheoretische visie) geldt zoiets niet. De verzamelingstheoretische predicaten *T* is een verzameling van verzamelingsstructuren en geen verzameling proposities en concepten. Bovendien bestaan de structuren alleen uit variabelen en relatiesymbolen, en er is zodoende niets dat verwijst naar de wereld met zijnden. Zo beschouwt komt de *L*-visie (34) er beter van af dan de *M*-Visie (35), want de *L*-Visie gaat over de werkelijkheid en de *M*-Visie niet. Aan de andere kant is de *L*-Visie niet praktisch uitvoerbaar, en de *M*-Visie wel. Je kan dan tegenwerpen: 'De *M*-Visie werkt met *data* die van de zijnden afkomstig is'. Dit klinkt aannemelijk, echter we hebben het dan over *gemodelleerde zijnden* die van wetenschappelijke modellen en theorieën afkomstig zijn; kennistheoretisch schieten we met de *M*-Visie niets op. De gemodelleerde zijnden zijn eigenlijk *surrogaat* zijnden, maar die willen we niet; we zijn op zoek naar de echte zijnden. De zijnden zijn verantwoordelijk voor de fenomenen waaraan wij data onttrekken. Muller noemt dit: *het Probleem van de Verloren Zijnden* [Muller, 2011, 97]. Overigens zijn de empiristen van de semantische visie wél gelukkig met alleen de meetgegevens [Frigg, p. 40].

3.3 'Meetproblemen'

Het programma van *(representeerbare) meettheorie* is een groot project binnen de filosofie van de wetenschap. De aanzet voor deze theorie is (weer) Suppes die er vanuit gaat dat onze observaties *kwalitatief* van aard zijn, en onder bepaalde condities *kwantitatief* (d.i. numeriek) gemaakt kunnen worden in de vorm van data. De condities kunnen we wat nauwkeuriger formuleren: een verzameling data is geschikt desda de data is verkregen uit experimenten of

[33] De aristotelische inductie heeft dus niets te maken met statistiek (bv.extrapoleren op basis van een aantal specifieke waarnemingen naar algemenen wetmatigheden), terwijl we dat bij de huidige opvatting van inductie wel hebben.
[34] Als paradigmatisch voorbeeld van axioma's geldt Euclides' *Elementen*. Met een verwijzing naar dit werk spreken ook wel van de *geometrische methode*.

waarnemingen. Maar voor welke wet of wetenschappelijke theorie is deze data relevant? Ik geef een voorbeeld:

☼ Stel we hebben een verzameling meetgegevens *G* met de volgende koppels (16, 8); (8, 4); (32, 16); (64, 32). Deze verzameling kan slaan op de gaswet: *de eerste wet van Gay-Lussac* met de meetgegevens (*V*, *T*) en een constante gasdruk:

$$\frac{V}{T} = c$$

Maar ook op *de wet van Ohm* met (*U*, *I*):

$$\frac{U}{I} = R$$

In § 2.1.1 is al de opmerking gemaakt dat Suppes teveel gericht is op de datastructuren, en zich nauwelijks bezig houdt met de fenomenen of de zijnden. De data moeten we eenvoudigweg *toelichten* om iets te zeggen over *wat* we meten. Op welke zijnden heeft de data betrekking? Dat toelichten of verklaren doen we door, uit een taalafhankelijke theorie, taal toe te voegen aan de data. Er is evenwel een probleem: in de *M*-Visie ontbreekt taal, dus in welke verzamelingsstructuur dienen we onze data in te bedden? Muller noemt dit: *het Probleem van de Niet Beschikbare Verhalen*.

Er is nog een probleem: *het Probleem van de Verloren Inhoud*. Dit kan geïllustreerd worden met het besproken voorbeeld uit § 2.2.2.2 (de z - component van de impuls is r). In *T* gebruiken we enkel de abstracte taal van de verzamelingstheorie, maar de inhoud van theorie T is kwijt; aan de werkelijkheid gaan we voorbij [Muller, 2011, 101].

We maken even een pas op de plaats, en keren terug naar de twee vragen die we in de Inleiding op de agenda hebben gezet. Vraag I gaat over de aard van een wetenschappelijke theorie T. In dit hoofdstuk hebben we, voorlopig, de verzamelingstheoretische visie (*M*-Visie) als het beste antwoord hierop, omdat deze visie gebruiksvriendelijker is. De tweede vraag luidt: Wat vertelt een theorie ons over de werkelijkheid (*de zijnden*), waarvan we veronderstellen dat de kennis die we erover verkrijgen, *waar* is? De *M*-Visie (35) voor zo'n theorie moet dus gaan over ware kennis. Als we de problemen van de Verloren zijnden, Niet Beschikbare Verhalen en de Verloren Inhoud er bijpakken dan zien we dat de *M*-visie geen oplossing is. Een mogelijke oplossingsstrategie *zou* kunnen zijn: ontwikkel een soort ontologische taal die over de zijnden gaat, en probeer die taal te relateren aan $L_\in$. Stop, dit gaat fout. We krijgen op deze manier speculatieve wetenschap, omdat een ontologische taal tegen Kant ingaat. Een andere strategie is: Stel dat we uitgaan van het realisme om vraag II te beantwoorden d.i. 'Neem de taal van T t.a.v. de zijnden letterlijk'. Dit sluit weer mooi aan bij de *M*-Visie. Alleen moeten we die herzien, want de visie moet nu ook gaan over de zijnden. Deze aanpassing is te verwezenlijken, als we teruggaan naar het uitgangspunt van Suppes, nl. het modelbegrip van Tarski. Tussen Tarski en Suppes' *M*-Visie is wel een verschil: Suppes werkt met modellen uit de wetenschap die er van uitgaan dat ze ware kennis genereren, terwijl Taski's opvatting over een geformaliseerde theorie van een verzameling zinnen in een formele taal gaat. Wanneer we nu de *M*-Visie uitbreiden met alle waarnemingen en data structuren *en* alle mogelijke geformaliseerde ware en niet-ware meta-theorieen[35], dan hebben we een Tarskiaans model gecreëerd dat we terecht een *Semantische-Visie* kunnen noemen. Het geheel overziend: we zijn weer terug bij de *L*-Visie (34), omdat we in de semantische-visie weer met een geformaliseerde taal werken [Muller, 2011, 104]. Einde verhaal? Toch niet. We gaan in de volgende paragraaf de semantische visie van Van Fraassen erbij pakken en in verband brengen met de drie geopperde problemen. Als dit verband gelegd is dan hebben we een soort synthese van de *L*-visie en de *M*-visie; de structuur-visie van Muller.

3.4 De structuur-visie

Voor dit doel, de structuur -visie, moeten we eerst nog eens goed kijken naar de semantische visie die door Van Fraassen is ontwikkeld. We kunnen de toestandsruimte, die in de semantische visie zo'n belangrijke rol speelt, opvatten als een *topologische ruimte*[36]; specifiek: een *differentieerbare topologische ruimte*, waarin geen taal voorkomt. Een wetenschappelijke theorie bestaat *wel* uit taal, en we kunnen de woorden waaruit die taal bestaat met *coördinaten* vergelijken. Op die manier kunnen we het vertalen van een theorie naar axioma's (de elementaire uitspraken [§ 2.2.1 en § 2.2.2]) *matchen* met transformaties van coördinaten. Maar, in tegenstelling hiermee wil ik verwijzen naar § 2.2.2.1 (toestandsruimten nader bekeken), waar we hebben gezien dat fysische wetten binnen toestandsruimten beschreven kunnen worden, die zoals gezegd, taalvrij zijn. Er kan nu gezegd worden dat wetten coördinaat-vrij geformuleerd kunnen worden. Daarom kan Van Fraassen zijn raamwerk van de toestandsruimte met de structuren van Suppes vergelijken, omdat beide taalvrij zijn [Van Fraassen, 2014, 19]. Vervolgens kan nu de coördinaat-vrije formulering van een fysische theorie, of wet, uitgedrukt worden in de taalloze formulering van verzamelingen *T* van structuren *M*. Concluderend: T kan zowel in gewone taal uitgedrukt worden als in een wiskundige taal (een *differentiaalmeetkundige taal*).

Muller legt nu de vinger op de zere plek, want als we een theorie met wetenschappelijke taal omwerken naar een model, dan moeten volgens Van Fraassen de axioma's passen in hetzelfde model [Muller, 2011, 105-6]. Maar, zegt Muller, dat kan niet, want wanneer we met verschillende formeel deductieve systemen F_T werken, dan zijn ook de modellen verschillend. De reden hiervoor is simpel: de systemen F_T zijn gebaseerd op verschillende elementaire formele talen $\boldsymbol{L_T}$ die bestaan uit ander *lexicon.* Er zijn dus verschillende formuleringen van een theorie mogelijk. Bladert u voor een voorbeeld maar even terug naar p. 17: de Klassieke Mechanica kan op twee manieren beschreven worden: op de newtoniaanse wijze, maar ook met het Hamilton-formalisme. Stel dat we er voor kunnen zorgen dat we de veelheid van formele systemen onder één dak kunnen krijgen (ik verwijs hier naar het structuralisme! [ad II.3]), dan zijn we ook in staat om er één model van maken. Muller's oplossing voor dit probleem is als volgt: creëer een vertaling (een 'bijectieve afbeelding') tussen de verschillende talen L_T en de axioma's van T (m.i. het hart van Muller's theorie):

$$\exists g : L_T \to L'_T \text{ en } \exists g^{inv} : L'_T \to L_T \;;\; \exists g : \text{ax(T)} \to \text{ax'(T')} \text{ en } \exists g^{inv} : \text{ax'(T')} \to \text{ax(T)} \quad (37)$$

Hiermee maken we een verzameling structuren:

[35] Zie in deze context § 1.4 'Het structuralisme van Worrall', waarin ook verschillende theorieën worden opgenomen.
[36] Hilbert-ruimten die in de Quantummechanica gebruikt worden zijn topologische ruimten.

$A_T = \{ \langle \mathrm{ax(T)}_1, L_{T1} \rangle , \langle \mathrm{ax(T)}_2, L_{T2} \rangle ,\ldots\}$ (38)

Atlas (= A_T) is de *verzameling* van de *inter-vertaalbare* formele theorieën. Voegen we aan A_T nog (wetenschappelijke) waarnemingszinnen W(T), en de deductie-relatie $\vdash$ toe [p. 14], dan krijgen we de verbeterde L-Visie, de zgn. *Formulerings -Vrije Taalkundige Visie* of de [L]-*Visie*:

$\langle A_T, \vdash, W(\mathrm{T}) \rangle$ (39)

De verzameling inter-vertaalbare theorieën is een *equivalentie-klasse*, omdat er tussen de theorieën equivalentie-relaties bestaan. Het gevolg hiervan is dat één lid van de klasse de modellen van de andere vastlegt. Een eenvoudig voorbeeld laat dit zien: neem de verzameling $X = \{x \mid x \in \mathrm{Z}; -30 \le x \le 30\}$, met de equivalentie-relatie R: '..verschilt een drievoud met..'. Kiezen we nu bijvoorbeeld $x = 1$, dan liggen de andere elementen uit de equivalentie-klasse ook vast: $X_e = \{.., -5, -2, 1, 4, 7, ..\}$. Nog een ander voorbeeld: $\exists g$: *tafel* $\rightarrow$ *table* en $\exists g$: *table* $\rightarrow$ *tisch* (g^{inv} geldt natuurlijk ook). Duidelijk is nu dat één woord de gehele verzameling inter-vertaalbare woorden vastlegt.

Ten aanzien van de genoemde problemen kunnen we nu het volgende zeggen. Het Verloren Zijnden Probleem was reeds al opgelost, omdat de L-Visie (34) een klassieke theorie Π (36) is. De [L]-Visie (39) is dus zeer zeker een klassieke theorie die over zijnden gaat. Het Probleem van de Verloren Inhoud bestaat in de herziende visie van de L-Visie ook niet meer, dat komt doordat de theoretische zinnen (die in de L-Visie alleen partieel interpreteerbaar zijn) nu volledig interpreteerbaar zijn in de [L]-Visie. Zie voor een illustratie van de [L]-Visie fig. 4. In het 'plaatje' zien we hoe waarnemingszinnen W(T) aan A_T worden toegevoegd. Verder is de verzameling A_T van de inter-vertaalbare theorieën (bestaande uit formele talen L_T en de axioma's van T, ax(T)) weergegeven, en tenslotte laten de bijectieve afbeelding(en) tussen de verschillende talen en axioma's niets aan de verbeelding over. Ik wil benadrukken dat het idee van de bijectieve afbeeldingen van talen en axioma's de kern van de [L]-visie is.

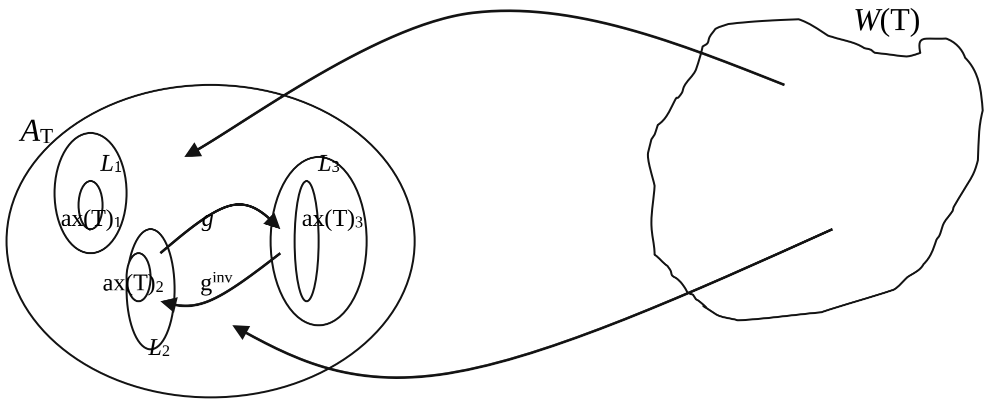


fig. 4

We keren terug naar de M-Visie om het Probleem van de Verloren Inhoud, en het Probleem van de Niet Beschikbare Verhalen op te lossen. Het is duidelijk dat deze visie ook onafhankelijk is van alle mogelijke formulering, maar niet taalvrij in de zin van coördinaatvrij[37]. Verder bestaat de verzameling predicaten T uit modellen M ($M \in T$). Ik breng nog even in herinnering dat de verzameling modellen M de gehele theorie vormt [p. 42]. We gaan weer verder. Eén model (structuur) M legt het Tarskiaans model M vast, en tevens een formele taal L_M (zie het voorbeeld hiervoor). Er kan nu een, gedeelte van een, wetenschappelijke theorie geschreven worden in taal L_M; noemt deze theorie Th(M). Sterk vereenvoudigd wordt dit (met $\models$ als *waarmaker-relatie*):

$$M(L_M) \models \mathrm{Th}(M_{L_M}) \tag{40}$$

Maak nu, net als in de [L]-Visie, een verzameling theorie-structuren, deze noemen we K_M:

$$K_M = \{\langle \mathrm{Th}(M_{L_M})_1, M(L_M)_1 \rangle, \langle \mathrm{Th}(M_{L_M})_2, M(L_M)_2 \rangle, \ldots\} \tag{41}$$

Let op: ieder structuur $M \in T$ heeft een aparte taal L_M. Iedere structuur brengt dus een klasse K_M met zich mee. We maken nu van het koppel M en K_M een model $\langle M, K_M \rangle$. Het model bestaat uit een structuur M waarin de theorieën met verschillende formuleringen zijn ingebed. Nu komt het belangrijkste: de propositionele inhoud van M moet weer gezien worden als die van alle inter-vertaalbare formuleringen (d.i. een equivalentieklasse). Het gevolg is dat het model (de structuur) $\langle M, K_M \rangle$ ook propositionele inhoud heeft. Dergelijke structuren vormen samen met de verzamelingstheoretische predicaten T een klasse T_t. De '*t*' betekent: de predicaten T van de structuren M. Voorts kan gesteld worden dat de propositionele inhoud van T_t niet afhangt van de gekozen taal; vergelijk de onafhankelijkheid van een gekozen coördinaten systeem en de fysische inhoud. Dit alles leidt tot de *Structuur-Visie* of de K_M-Visie [Muller, 2011, 107]:

$$\langle T_t, G(\mathrm{T}) \rangle \tag{42}$$

De K_M -Visie genereert een hele verzameling taal, wetten en theorieën van structuren M, die het karakter van een wetenschappelijke theorie T kunnen vastleggen. We kunnen dus zeggen dat de K_M -Visie een antwoord is op vraag I. De verzameling theorieën Th(M) geeft alle taal die het Probleem van de Verloren Inhoud uit de wereld helpt. Maar ook het Probleem van de Niet Beschikbare Verhalen is opgelost, omdat de gegevensstructuur G nu ingebed kan worden in een model M met wetenschappelijke taal. Het Probleem van de Verloren Zijnden bestaat in de K_M-Visie ook niet meer. Ik geef een voorbeeld: een elektrische stroommeter wijst 3 aan. Dit gegeven roept een rij theorieën op: de stroomsterkte is 3 ampère en het verband met de wet van Ohm; de stroom is een verplaatsing van ladingdragers bv. elektronen (de entiteiten); de wetten van Maxwell enz.. Een voorstelling van de K_M-Visie ziet u in fig. 5. In dit 'diagram' is duidelijk te zien dat de gegevensstructuur G(T) kan worden ingebed in verschillende modellen. De klasse van modellen $\langle M, K_M \rangle$ 'ontmoeten' de predicaten T en vormen T_t. (in het diagram moeten om M_1 en M_3 ook rechthoeken met predicaten T gedacht worden). Tenslotte levert de structuur $\langle T_t, G(\mathrm{T}) \rangle$ de Structuur-Visie.

[37] Merk op dat differentiaalmeetkunde (een topologische ruimte) ook met coördinaten werkt, waarin ook transformaties kunnen plaats vinden.

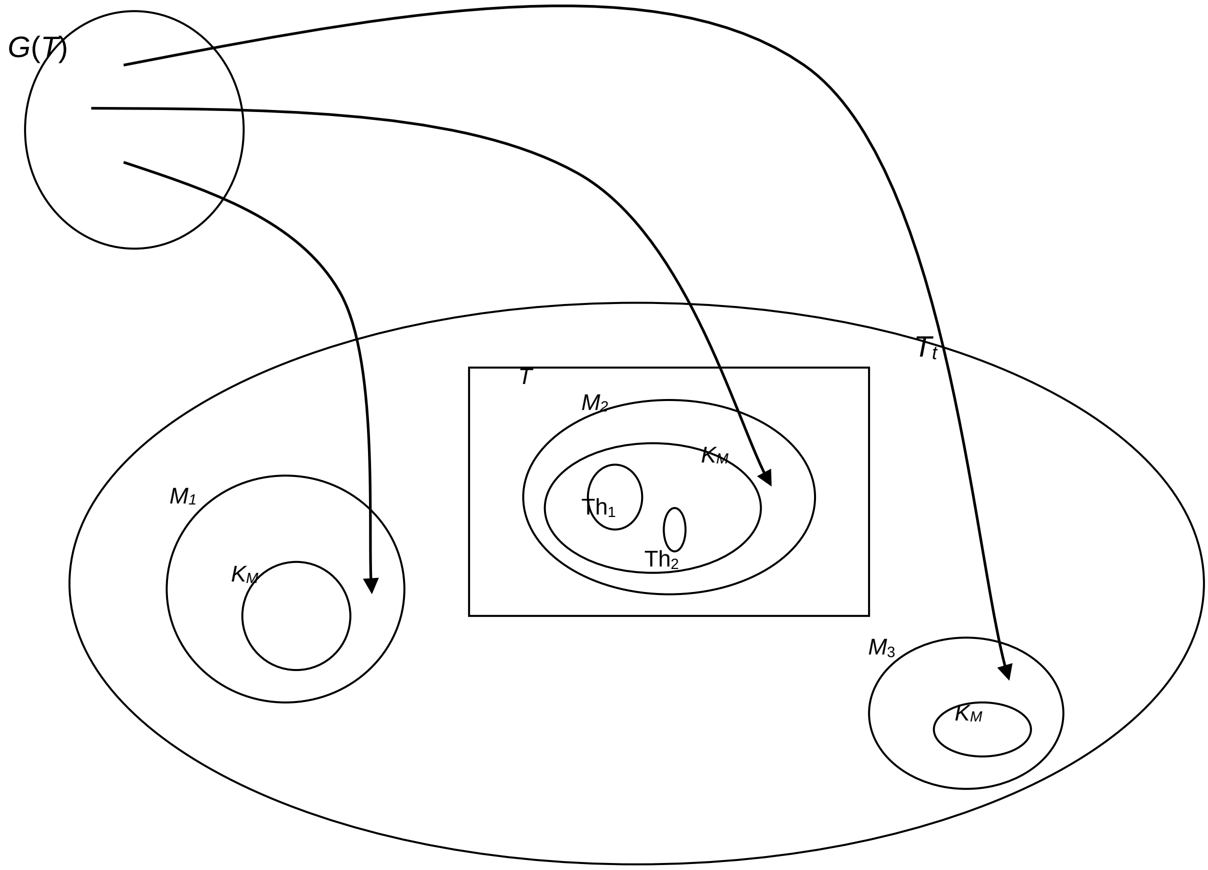


fig. 5

In het voorgaande is aangetoond dat de twee vernieuwde visies de genoemde drie problemen hebben opgelost. De [*L*]-Visie is onafhankelijk van de formuleringen van formele theorieën waar we in de *L*-Visie wel mee te maken hadden, en in de K_M -Visie zijn alle formuleringen van subtheorieën (wetten) opgenomen, met dien verstande dat de conceptuele inhoud van de theorie onveranderd blijft. Vraag I naar behoren beantwoord zou ik zeggen.

Een vergelijking van de atlas A_{T} (de verzameling van de *inter-vertaalbare* formele theorieën) en K_M (de verzameling van theoriestructuren in een verzamelingstheoretische taal) leert ons dat beide klassen met elkaar te vergelijken zijn:

$$A_{\mathrm{T}} = \{M \in T | K_M\} \tag{43}$$

De rechtse term bevat dus alle formuleringen van een theorie binnen een structuur *M*, en {..} is de verzameling van *alle* structuren *M*. Het geheel geeft de formulering van een wetenschappelijke theorie T (evenals de linker term).

Wanneer we de twee visies vergelijken geniet de K_M-Visie de voorkeur, omdat die net als de *M*-Visie gebruiksvriendelijker is t.o.v. de *L*-Visie. De formele theorieën binnen de [*L*]-Visie moeten immers naar elkaar toe vertaald worden [(37) en Atlas A_{T} (38)]. Daaropvolgend moet de theoretische inhoud van A_{T} met correspondentieregels aan *W*(T) gerelateerd worden; in de K_M-Visie is dat allemaal niet nodig, omdat de structuren in de klasse K_M allemaal bestaan uit *Suppes-predicaten*. De K_M -Visie maakt de model revolutie van Stanford compleet [Muller, 2011, 110]. Met deze visie is *niet* het probleem opgelost van de verhouding van een model tot de zijnden, maar het probleem is verschoven naar de relatie tussen de entiteiten en wat we over die relaties kunnen zeggen. De volgende sectie gaat dieper op deze problematiek in.

Vraag II uit de inleiding (de epistemologische vraag) is met de K_M -Visie ook beantwoord. Al onze wetenschappelijke kennis over bepaalde structuren, processen en objecten in de werkelijkheid (de relaties tussen de zijnden) zijn opgenomen in de structuur-visie [structuralistische opvatting, Ad II.3], en zodoende kunnen we zeggen dat we ware kennis van die werkelijkheid hebben.

3.5 De K_M-Visie en wetenschappelijke representatie

Bij Van Fraassen [§ 2.2.3] en Frigg [§ 2.2.4] is de kwestie van representatie ook al besproken. Muller zit qua standpunt in het kamp van Frigg. De K_M -Visie brengt ons tot de volgende opvatting [Muller, 2011, 110]:

Structuur M representeert zijnde Z desda M is een model van Z (44)

Representatie kan gezien worden als een synoniem voor model. De ‘Van Fraassen van 2014’, zegt dit eigenlijk ook als hij beweert dat de representatieve visie de opvolger is van de semantische visie. Maar zijn gedachte is gebaseerd op het verband dat hij maakt tussen representatie en interpretatie. De kritiek hierop hebben we in § 2.2.3 al besproken. De kern was dat het interpreteren te ruimhartig kan worden opgenomen, en subjectief kan worden ingevuld. Er moet in de modellen meer beschrijvingen betreffende de zijnden worden opgenomen om aan dit probleem het hoofd te bieden; gelukkig voldoet de K_M -Visie aan deze eis. Het is goed om ook Frigg’s problemen ten aanzien van representatie nog even in herinnering te brengen en te vergelijken met Muller’s visie. Bij Frigg hebben we de volgende problemen behandeld: het *raadsel* van representeren, het probleem van *stijl* en het *ontologisch* probleem. We komen dan tot de volgende constateringen:

1. Het raadsel van representeren (Muller noemt dit het *Verduidelijkings Probleem* [Muller, 2011, 111]) kan met de K_M -Visie opgelost worden, omdat een structuur een zijnde representeert desda de structuur een model van dat zijnde is (44). In de visie van Muller zitten alle mogelijke ware theorieën (waarin de datastructuren de waarmakers condities zijn) die de zijnden kunnen beschrijven. Frigg brengt zijn ‘raadsel-probleem’ voornamelijk in contact met de eis van isomorfie, dat in de semantische visie zo’n gewichtige rol vervult. Zoals we weten vindt Frigg alleen die voorwaarde onvoldoende. Of enige andere vorm van morfisme in de K_M -Visie gebruikt kan worden om aan te tonen dat de zijnden een morfisme voortbrengen, of zijn, is niet vanzelfsprekend; dat zal nog onderzocht moeten worden. Het inbeddingsverhaal (d.i. neem de gegevensstructuur *G*, die ontrokken is aan de zijnden *Z*, op in model *M*) is voor een empirist voldoende om te spreken over isomorfie. Echter voor een realist is dit niet voldoende [Muller, 2011, 113 en p. 40]. Het model spreekt zich nl. niet uit over de werkelijke zijnden; de zijnden die voor ons onwaarneembaar zijn. Dus de bewering: *model M representeert zijnde Z desda Z is isomorf met M* kan voor de K_M -Visie (nog) niet bevestigd worden. We kunnen wel een poging wagen door (in navolging van Frigg) te zeggen: *Model* M *bestaat uit tenminste één structuur M en representeert het doelsysteem X (zijnden Z) desda X (Z) is isomorf met M, met betrekking tot omschrijving D in* M. Model M en omschrijvingen *D* moeten vervolgens nog doorontwikkeld worden om er voor te zorgen dat we de conclusie mogen trekken dat M en *X* (*Z*) isomorf zijn. Maar op deze manier begeven we ons weer richting vraag II: Wat vertelt een theorie ons over de werkelijkheid,

wanneer we onderstellen dat die theorie *waar* is? Met als oplossingen: empirisme, realisme of structuralisme. Het is niet de bedoeling van mij om in deze scriptie dieper in te gaan op deze drie antwoorden, omdat we ons dan mengen in het zgn. *realismedebat* (d.i. het debat tussen de realist, die beweert dat theorieën over het niet-waarneembare, ware uitspraken kunnen bevatten, terwijl bv. de empirist van mening is dat alleen het waarneembare tot waarheid leidt).

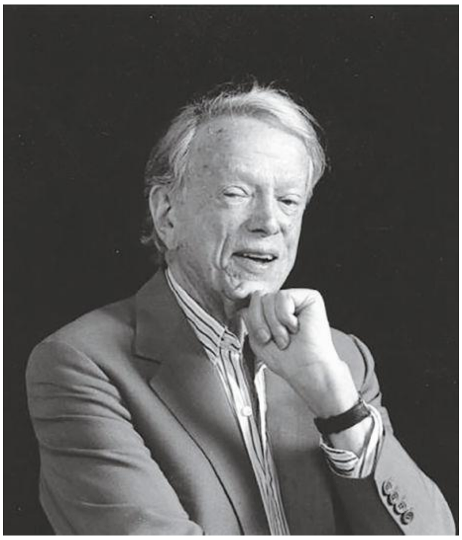
2. Wat het feitelijke probleem van stijl betreft: dit probleem speelt niet in de structuur-visie van Muller, omdat vele verschillend theorieën met dito modellen [p. 49: M_1, M_2,.. in fig. 5] in de visie (d.m.v. het gebruik van klasse K_M) kunnen worden opgenomen in de K_M-Visie. Voor het normatieve probleem van stijl kunnen we weer terug vallen op het morfisme. Een *totale* mispresentatie kan voorkomen worden omdat er gegevensstructuren G ingebed worden in de modellen M (isomorfie tussen G en M).

3. Ten slotte het ontologisch probleem. Muller is daar vrij stellig in: modellen zijn verzamelingstheoretische structuren. In navolging van Suppes definiëren Muller e.a. structuren juist als een verzamelingstheoretisch raamwerk.

De bovenstaande toelichtingen kunnen natuurlijk veel uitvoeriger besproken worden, maar dat valt buiten het kader van deze scriptie. De bedoeling van mij was een beeld te schetsen van de [L]-Visie en de K_M-Visie. Dat beide visies tamelijk complex zijn is een *understatment*. Voor een beter begrip voor de beide visies heb ik voor mijzelf steun gehad aan de ‘diagrammen’ [p. 47: fig 4 en p. 49: fig 5] die ik in de tekst heb opgenomen. De abstracte beschrijvingen van de [L]-Visie en de K_M-Visie krijgen als het ware een gezicht. Neem als voorbeeld de [L]-Visie die geïllustreerd wordt door fig. 4. De diverse vertalingen, die door de verzameling atlas A_T wordt weergegeven, zijn plotseling helemaal niet zo ingewikkeld als ze gevisualiseerd worden.

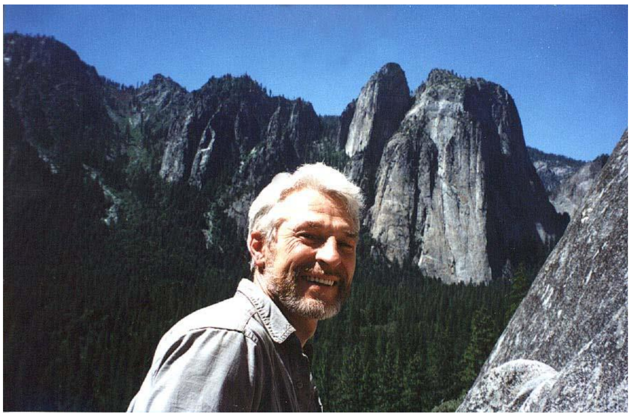
Op de volgende pagina treft u een foto overzicht aan van de filosofen die de verzamelingstheoretische visie, de semantische visie en de structuur-visie ontwikkeld hebben.

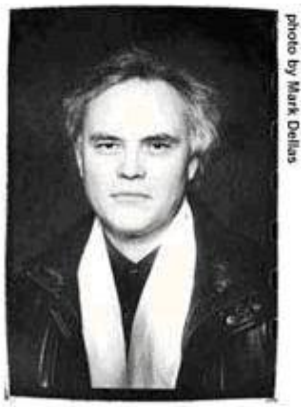
3.6 Fotogalerie 2 & 3


Patrick Suppes


Ronald Giere


Evert Beth


Bas van Fraassen



William Demopoulos


Roman Frigg


Fred Muller

4. Terugblik en conclusies

Ik kan me voorstellen dat een aantal van u door de veelheid van visies, voorbeelden, toelichtingen, theorieën, interpretaties, representaties enz. enigszins naar adem snakt. Geen paniek, ik ga mijn scriptie van begin tot eind nog doorlopen, en proberen accenten te leggen. Ik ben mijn scriptie begonnen door in de **Inleiding** twee kernvragen te presenteren (De antwoorden op die vragen vormen de ziel van mijn scriptie):
I. Wat is een wetenschappelijke theorie? Of: Wat is het karakter van een wetenschappelijke theorie? en
II. Wat vertelt ons een theorie over de werkelijkheid?
De antwoorden op I zijn:
De syntactische visie, de semantische visie en een 'synthese' van de twee visies: de structuur visie. Alle drie de opvattingen werken met structuren, vandaar de titel van mijn scriptie: structuren in de filosofie van de wetenschap.
De antwoorden op II:
Het empirisme, het realisme en het structuralisme.
Let u erop dat de antwoorden van vraag II de uitgangspunten zijn van de antwoorden op vraag I.

Hoofdstuk 1 bestond hoofdzakelijk uit de uitleg van de syntactische visie. De basisgedachte van deze opvatting is de logica. Voor de ontwikkeling van de logica moeten we bij Russell terecht. Russell's structuur-realisme, dat op logica gebaseerd is, is in § 1.1 behandeld, en is een antwoord op vraag II. Het uitgangspunt van zijn realisme is dat er isomorfie tussen sense data en de werkelijkheid bestaat. Echter, dit wordt door het 'Newman's bezwaar' verworpen [p. 7]. Newman stelt dat Russell's structureel realisme *waar* is , als de kardinaliteit van de structuren (sense data en werkelijkheid) dezelfde is, maar dan hebben we geen beschrijvende structurele kennis van de werkelijkheid alleen een 1 op 1 overeenkomst tussen de structuren (isomorfie).

De syntactische visie, opgezet door de logisch-empiristen en zoals gezegd sterk beïnvloed door de logica van Russell, zal ik nu samenvatten [§ 1.2]. Uitgangspunt van deze groep filosofen is natuurlijk het empirisme (alleen de kennis uit de waarneming telt!). De voorstanders van deze visie houden zich krampachtig vast aan het verschil tussen waarnemingszinnen en theoretische zinnen in een wetenschappelijke theorie T. Zij formaliseren de beide zinnen, en doormiddel van de zgn. correspondentieregels kunnen die twee zinnen weer met elkaar worden verbonden. Denk hierbij aan de bilaterale reductiezin (6) [p. 9]: $C(x) \to (Q(x) \leftrightarrow E(x))$.
Q is een theoretisch predicaat, en C en E zijn waarnemingspredicaten. Dit omwerken brengt de nodige problemen met zich mee brengt, omdat uitdrukking Q in waarnemingstermen O moet worden uitgedrukt, wat dan weer een empirische beweerzin oplevert… Dat laatste lukt niet altijd omdat er soms eindeloos moet worden getoetst om theoretische termen te reduceren tot waarnemingstermen [p. 9].

Een manier om uit de malaise te komen is het invoeren van de Ramsey-zin (10) [p. 11]:
$R^{TC} = \exists u_1 ... \exists u_m TC(O_1,...,O_n; u_1,...,u_m)$.
Toelichting: We weten dat een wetenschappelijke theorie T geformaliseerd kan worden in theorie *TC*. Samen met de waarnemingszinnen O_i en de predicaatvariabelen u_i (van de theoretische zinnen T_i) vormen zij de Ramsey-zin R^{TC}. Hoewel de Ramsey-zin nog steeds het

onderscheid maakt tussen waarnemings- en theoretische predicaten is hij een stuk praktischer in het gebruik dan de ingewikkelde formele aanpak van Carnap en Hempel. Kort uitgelegd betekent de Ramsey-zin: Een entiteit (bv. een elektron) wordt beschreven door zijn eigenschappen en relaties. Omdat de eigenschappen van een entiteit gerelateerd kunnen worden aan waarnemingszinnen O_i (meetwaarden) kan de aard van een entiteit bloot gelegd worden. Carnap zag dit in en ontwikkelde zich van een empiristisch standpunt naar een meer realistische opvatting aangaande kennis over de werkelijkheid. Een Ramsey-zin is eigenlijk een soort matrix waarin allerlei combinaties tussen waarnemingen en mogelijke variabelen gemaakt kunnen worden. Een voorbeeld van een combinatie is een causale wet. Alle combinaties genereren in principe het karakter van een wetenschappelijke theorie T. Echter, het construeren van de Ramsey-zin is bij wat uitgebreidere theorieën zeer complex [p. 11].

De Ramsey-zin was oorspronkelijk bedoeld om de empirische problemen van o.a. de bilaterale reductiezin en de empirische beweerzin op te lossen [Hempel, p. 9]. Carnap is, zoals gezegd, in de loop van zijn carrière opgeschoven richting het realisme. In het verlengde hiervan moeten we de laatste paragrafen van Hoofdstuk 1 zien. In § 1.3 heb ik Maxwell besproken die de Ramsey-zin in verband heeft gebracht met het structuur-realisme van Russell. Maxwell's poging is evenwel op een mislukking uitgelopen, omdat hij weer stuit op het 'Newman's bezwaar' en anderzijds op de toepassing van intrinsieke eigenschappen die de causaliteit tussen entiteiten kan verklaren. Dit laatste is tegen Russell's structuur-realisme. Een betere poging komt van Worrall [§ 1.4]. Het structuralisme van Worrall kan ook weer als een voortzetting van Russell's inzichten gezien worden. Alleen Worall werkt uitsluitend met *relaties* tussen entiteiten. De structuren kunnen volgens Worrall in de Ramsey-zin gezocht worden. Immers, de Ramsey-zin laat het structuurbehoud tussen oude en nieuwe consistente theorieën zien. Worrall biedt ons dus een oplossing van het probleem van de pessimistische meta-inductie d.w.z. dat oude theorieën vervangen worden door nieuwe theorieën [p. 16-7]. Het structuralisme is het derde antwoord van vraag II, en is een radicale opvatting van het realisme; de natuur wordt gekarakteriseerd door structuur, waarin de onwaarneembare fenomenen een plaats krijgen.

Ook al heb ik de Ramsey-zin het juweel van de syntactische-visie genoemd kleven er toch nogal wat bezwaren aan [p. 11, voorbeeld gastheorie]. Het is zeer lastig om van alle eigenschappen en causale wetten een wezenlijke theorie te maken. Filosofen gingen op zoek naar 'iets beters'; Suppes kwam met een antwoord.

In **Hoofdstuk 2** (Wiskundige structuren met of zonder taal) kwam de verzamelingstheoretische visie van Suppes aan bod [§ 2.1]. Deze theorie, die met axioma's uit de verzamelingsleer werkt (verzamelings-variabelen, $\in$ en verzamelingstheoretische predicaten (bv. een groep)) en met datastructuren van theorie T aan de slag gaat, is eigenlijk niet op de werkelijkheid gericht. Het nadeel van Suppes' opvatting is dat we gegevens vrij kunnen interpreteren, omdat de data niet de fenomenen toont [p. 24]. Je zou kunnen zeggen: het is een theorie 'zonder toelichtende taal'. Wetenschapsfilosofen spreken in dit verband ook wel van het 'meetprobleem' [§ 3.3]. Dit meetprobleem komt nadrukkelijk ter sprake bij Muller (zie verder). Ik wil u in dit verband wel wijzen op de voorbeelden over 'de eerste wet van Gay-Lussac' en 'de wet van Ohm' [p. 45].

Evert Beth heb ik in § 2.1.1 geïntroduceerd als grondlegger van de semantische visie. Aan de basis van een wetenschappelijke theorie T (vraag I), bv. de Klassieke Mechanica, liggen volgens hem elementaire uitspraken uit T (bv. een deeltje bevindt zich op tijdstip t op plaats x, en heeft impuls p) ten grondslag. Deze uitspraken liggen in de toestandsruimte (x, p). We moeten ons, volgens Beth, direct richten op de wiskundige structuur van de toestandsruimte. Belangrijk is dat de uitspraken overeenkomen met ‘meetwaarden’, dus de uitspraken moeten *waar* zijn. Uitspraken en empirische inhoud vormen een model M [Tarski, p. 21]. Van Fraassen zegt dat Beth nog teveel op de algoritmes van de wetenschappelijke theorie gericht is, en minder op de werkelijkheid. Een vergelijking met Suppes doemt op. Hier gaat Van Fraassen iets aan doen.

Zoals ik eerder heb vastgesteld vormt de semantische visie van Bas van Fraassen [§ 2.2.2] de kern van Hoofdstuk 2. Uitgangspunten bij Van Fraassen zijn weer de elementaire uitspraken U en de toestandsruimte Γ [§ 2.2.2.1]. Voorbeelden van toestandsruimten zijn: de Hilbert-ruimte en de faseruimte (x, p). Tussen U en Γ is sprake van isomorfie (U is door functie h ingebed in Γ). Vooruitstrevend is de gedachte van Van Fraassen om een fysisch systeem X op te nemen in de toestandsruimte Γ . Een model maken van een wetenschappelijke theorie gaat dan als volgt: creëer een locatiefunctie of inbeddingsfunctie *loc* en reserveer een gebied in Γ. We hebben dan van structuur $L = \langle U, \Gamma, h \rangle$ (25) een model $M = \langle loc, X \rangle$ (26) gemaakt.

In § 2.2.3 besprak ik het commentaar van Frigg op de semantische visie. Frigg beweert dat de visie er onvoldoende in slaagt om de werkelijkheid te representeren. Dat komt omdat de semantici uitgaan van structuurgelijkheid tussen een model en werkelijkheid (isomorfie), en dat is volgens Frigg te zwak. Isomorfie alleen schiet tekort om de wereld in een model te gieten; in het model moet nog ‘uitleg’ gestopt worden [p. 40, (32)]. Van Fraassen vindt dat niet nodig, omdat hij zegt dat representeren en interpretatie van een theorie hetzelfde is [p. 36-7]. Bij de discussie over ‘het representeren van fenomenen’ moeten we goed in de gaten houden dat het een discussie is tussen realisten, o.a. Frigg, en empiristen, o.a. Van Fraassen [realismedebat; p. 51].

Tenslotte volgt nog een overzicht van **Hoofdstuk 3**. Muller formuleert in zijn artikel drie problemen m.b.t. visies van wetenschappelijke theorieën dit zijn: het Probleem van de Verloren Zijnden, het Probleem van de Niet Beschikbare Verhalen en het Probleem van de Verloren Inhoud. Zowel de L-Visie (syntactische visie) als de M-Visie (verzamelingstheoretische visie) geven geen afdoende antwoorden op de gestelde problemen. Hij komt met de [L]-Visie (39) en de K_M-Visie (42) om aan deze misère een einde te maken. De eerste is een verbeterde L-Visie, en evident is dat de tweede een opgekuiste M-Visie vertegenwoordigt. Wat betreft de [L]-Visie: Muller komt met het idee om een verzameling van vertalingen tussen formele talen/woorden van een theorie te maken, omdat in de semantische visie verschillende formele talen zijn opgenomen waarvan onmogelijk één model te maken is. Hij noemt dit de verzameling van inter-vertaalbare formele theorieën (atlas A_{T}). Let op: Muller werkt met een structuralistische uitgangspunt; het idee van ‘atlas’ is de kern van zijn structuur-visie. Atlas A_{T} en wetenschappelijke waarnemingen W(T) leiden tot een deductieve Formulerings -Vrije structuur [p. 47]:
$\langle A_{\mathrm{T}}, \vdash, W(\mathrm{T}) \rangle$ (39), ofwel de [L]-Visie.

Kenmerkend voor de K_M-Visie is de verzameling K_M van theorieën binnen één structuur M. De verzameling van structuren M en verzamelingstheoretische predicaten T vormen T_t. Het sluitstuk vormt een inbedding van de gegevensstructuur G(T) in T_t. We krijgen op die manier de Structuur-Visie of de K_M -Visie [p. 48]:
$\langle T_t, G(\mathrm{T}) \rangle$ (42)
De K_M -Visie bestaat uit een verzameling taal, wetten en theorieën van structuren M, die een wetenschappelijke theorie T kunnen karakteriseren. Zowel de [L]-Visie, als de K_M -Visie zijn antwoorden op de 1e vraag uit de Inleiding.

Omdat het beide equivalentieverzamelingen zijn, en ze eveneens dezelfde theorieën onderdak verschaffen geldt:

$A_T = \{M \in T | K_M\}$ (43)

We prefereren de K_M–Visie, omdat deze makkelijker uitvoerbaar is (bestaat alleen uit verzamelingstheoretische predicaten).

De drie genoemde problemen zijn door de beide visies opgelost. Het Probleem van de Niet Beschikbare Verhalen speelt niet meer speelt, want de structuren bieden alle beschikbare theorieën, die het 'meetprobleem' oplossen. Ook het probleem van de Verloren Zijnden is weggewerkt, omdat in de K_M-Visie de data een 'gezicht' hebben gekregen. En wat betreft het Probleem van Verloren Inhoud, kunnen we zeggen dat de structuren genoeg conceptuele inhoud hebben, omdat iedere theorie op zich, een formulering is!

Over de K_M-Visie t.a.v. het representeren van een wetenschappelijke theorie zegt Muller: *de representatie van een theorie is hetzelfde als een model van een theorie* [Muller, 2011, 111]. Met de gelijkschakeling van model en representatie bestaat het bezwaar van isomorfie dat Frigg noemt nog steeds, omdat we de precieze relatie tussen model en werkelijkheid niet weten. Dat komt, omdat we niet weten hoe de werkelijke zijnden 'er uit zien'. We moeten hier oppassen, want we verzeilen ongemerkt in het realismedebat [p. 51].

Ten slotte wil ik de Ramsey-zin (de realistische variant van Carnap) in verband brengen met de [L]-Visie (structuralistische variant van vraag II). Een formele theorie kan als volgt geschreven kan worden: $TC = TC(O_1,...,O_n;T_1...,T_m)$. Hieruit kan dan de zoals we inmiddels weten weer de Ramsey-zin geconstrueerd worden: $R^{TC} = \exists u_1...\exists u_m TC(O_1,...,O_n;u_1,...,u_m)$. De theoretische zinnen zijn predicaten die weer in verschillende variabelen u_i herschreven kunnen worden. Voor een ware wetenschappelijke theorie zoeken we de geschikte variabelen en waarnemingszinnen bij elkaar. Het gevolg is dat de Ramsey-zin R^{TC} de gehele inhoud van theorie TC beschrijft. Als we aan R^{TC} de eigenschappen van de entiteiten van een (oude) theorie T_1 in TC ontrekken, noemt deze u_1, ….., u_m en eveneens voor een andere (nieuwe) theorie T_2 de variabelen u'_1, ……, u'_m, dan moeten er tussen de twee (deel) verzamelingen variabelen overeenkomsten zijn: $u_n = u'_m$ of er zijn relaties te ontdekken: $\exists h : u_n \rightarrow u_m$ (bv. massa kan 'op de een of andere manier' vertaald worden in energie). Er kan nu een vergelijking gemaakt worden met de [L]-Visie. Daarvoor beschouwen we de 'inter-vertaalbare structuren' in atlas A_T en schakelen deze gelijk met theorieën (of wetten) in R^{TC}, welke ook inter-vertaalbaar zijn. Het komt er op neer dat de variabelen in R^{TC} equivalent zijn met A_T**.** De waarnemingstermen in R^{TC} en in de [L]-Visie zijn uiteraard hetzelfde. Wanneer we het argument van Worrall tegen de pessimistische meta-inductie nog even in ogenschouw nemen, dan heeft de Ramsey-zin dezelfde inhoud als de [L]-Visie [p. 17-8]. Bijkomend voordeel is dat de *waarmakers eis* de onware theorieën nu uit de Ramsey-zin weert. Dat komt omdat alleen de duurzame relaties in de structuren tellen, en de achterhaalde structuren niet voortbestaan; zie hier het structualisme aan het werk. Een voorzichtige conclusie die nu getrokken kan worden is nu: $R^{TC} \equiv [L]$-Visie ('$\equiv$' definieert).

Ik ben aan het einde gekomen van mijn onderzoek naar 'metatheorieën' van wetenschappelijke theorieën. Het valt op dat de logica in alle opvattingen van theorieën een grote rol speelt; natuurlijk in de syntactische visie, maar ook in de semantische visie en de structuur-visie. Volgens mij is de de structuur-visie, ofwel de K_M-Visie van Muller voorlopig de beste visie op wetenschappelijke theorieën, dat komt voornamelijk omdat hierin de 'gebruiksvriendelijke' verzamelingsleer, met zijn axioma's en predicaten, wordt gebruikt.

Laten we bij alle opvattingen ook de antwoorden op de epistemologische vraag (vraag II) niet vergeten, want in de visies vormt het realisme, het empirisme of het structuralisme de basis. Het structuralisme komt prominent naar voren in de structuur-visie van Muller, en in de opvatting van Worrall met de Ramsey-zin.

Ik begon mijn thesis met een citaat van Einstein. Tot slot wil ik afsluiten met een citaat van een ander genie:

> Je gaat het pas zien als je het door hebt.[38] [Johan Cruijff]

[38] Je weet pas hoe de structuur van de werkelijkheid in elkaar zit als je door hebt hoe het geconstrueerde model werkt.

Literatuurlijst

- Achinstein, P. 1964. ‘Models, Analogies, and Theories’. *Chicago Journals* Vol. 31, No 4: 328-350.
- Beth, E.W. 1948. *Natuurphilosophie.* Gorinchem: Noorduyn.
- Beth, E.W. 1949. ‘Towards an up-to-date philosophy of the natural sciences’. *Methodos* 1: 178–185.
- Beth, E. W. 1968. *The foundations of mathematics*. Amsterdam: North-Holland.
- Carnap, R. 1956. ‘The Methodological Character of Theoretical Concepts’. *Minnesota Studies in the Philosophy of Science* Vol.1: 38-76.
- Carnap, R. 1966. *Philosophical Foundations of Physics*. New York: Basic Books.
- Cartwright, N. D. 1983. *How the Laws of Physics Lie.* Oxford: Clarendon Press.
- Dieks, D. 2011. ‘E.W. Beth as a philosopher of physics’. *Synthese* 179: 271-284.
- Demopoulos, W. 2003. ‘On the Rational Reconstruction of our Theoretical Knowledge’. *British Journal for the Philosophy of Science* 54: 371-403.
- Einstein, A. & Dukas, H. 2013. *Albert Einstein the Human Side*. Princeton: Princeton University Press.
- Frigg, R. 2006. ‘Scientific representations and the semantic view of theories’. *Theoria* 55: 49-65.
- Giere, R. 1988. *Explaining Science*. Chicago: University of Chicago Press.
- Hempel, C.G. 1958. ‘The theoretician’s dilemma: A study in the logic of theory construction’. *Minnesota studies in the philosophy of science* Vol. 2: 37–98. Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Horsten, L. & Douven, I. & Weber, E. 2007. *Wetenschapsfilosofie*. Assen: Van Gorcum.
- Hughes, R.I.G. 1996. ‘Semantic View of Theories’. *Encyclopedia of Applied Physics*: 175-180.
- Maxwell, G. 1970. ‘Structural realism and the meaning of theoretical terms’. *Minnesota studies in the philosophy of science* Vol. 4: 3–34. Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Muller, F.A. 2011. ‘Reflections on the revolution at Stanford’. *Synthese* 183: 87-114.
- Newman, M.H.A. 1928. ‘Mr. Russell ‘s ‘Causal Theory of Perception’’. *Mind* 37: 137-148.
- Psillos, S. 2006. ‘Ramsey’s Ramsey-sentences’. *Cambridge and Vienna: Frank P. Ramsey and the Vienna Circle*, Vienna Circle Institute Yearbook 12, (ed. Maria Carla Galavotti): 67-90. Dordrecht: Springer.
- Ramsey F. 1931. *The Foundations of Mathematics and Other Essays*, (ed R. B. Braithwaite). London: Routledge and Kegan Paul.
- Russell, B. 1927. *The Analysis of Matter*. London, George Allen and Unwin.
- Saunders, S. & McKenzie, K. 2015. ‘Structure and Logic’. *Physical Theory* (*Method and Interpretation*): 127-162. Oxford: Oxford University Press.
- Suppe, F.R.. 2000. ‘Understanding Scientific Theories: An Assessment of Developments, 1969-1998’. *Philosophy of Science* 67 (Proceedings): 102 – 115.
- Suppes, P. 2002. *Representation and invariance of scientific structures*. Stanford: Centre for Logic, Language and Computation (distributed by Chicago University Press).
- Tarski, A. 1953. *Undecidable theories*. Amsterdam, North-Holland Publishing Co.
- Van Fraassen, B. C. 1970. ‘On the Extension of Beth's Semantics of Physical Theories’. *Philosophy of Science* 37, No 3: 325-339.

- Van Fraassen, B. C. 1980. *The Scientific Image*. Oxford and New York: Oxford University Press.
- Van Fraassen, B.C. 2014. *The Semantic approach, After 50 Years.* Concept.
- Worrall, J. 1989. ‘Structural Realism: The best of Both Worlds?’ *Dialectica* 43(1-2): 99-124.
- Worrall, J. & Zahar, E. 2001. ‘Ramseyfication and Structural Realism’. *Poincaré’s Philosophy: From Conventionalism to Phenomenology*: appendix IV. Chicago and La Salle (Illinois): Open Court.