

Filosofiese tendense in die wordingesgeskiedenis van ons verstaan van die fisiese natuur

Prof D F M Strauss
Dekaanskantoor
Fakulteit Geesteswetenskappe
Universiteit van die Vrystaat
Posbus 339 ,Bloemfontein 9300
E-Pos: dfms@cknet.co.za

Opsomming

Die ontstaan van 'n lang tradisie van natuurwetenskaplike denke is in antieke Griekeland te vind – die bakermat van die Westerse beskawing en die bron van geartikuleerde rasionele besinning. Die vroegste fases van die Griekse kultuur het reeds geboorte geskenk aan 'n teoretiese nadenke oor die heelal. Die Pythagoreërs is veral bekend vir hul klem op die verklaringskrag van getalsverhoudinge. In hul tese dat “alles getal is” het hulle egter slegs rasionale getalle (breuke) erken en gevolglik uiteindelik vasgeloop in die ontdekking van irrasionale getalle wat tot die geometrisering van die Griekse wiskunde gelei het en tegelyk die bedding gevorm het van waaruit 'n magtige tradisie van ruimte-metafisika gegroei het wat die hele middeleeuse tydperk omspan het. Die vermeende statiese syn is in die mees ekstreme geval – die skool van Parmenides en die argumente van Zeno teen veelheid en beweging – tot in die uiteindelijke antinomiese konsekwensies daarvan deurdink. Dit was egter eers die vroeg-moderne tyd – die voorgangers en nakomelinge van Galilei – wat naas getal en ruimte 'n waardering ontwikkel het vir die verklaringskrag van beweging (vgl. die klassieke meganistiese wêreldbeeld van die heelal as 'n meganisme van stofdeeltjies in beweging). Maar ook hierdie meganistiese reduksie (waardeur alle fisiese verskynsels herlei is tot die beweging van al of nie gelade massa-punte) sou uiteindelik misluk omdat dit nie van die onomkeerbaarheid van fisiese prosesse rekenskap kon gee nie. Gevolglik beliggaam eers die fisika van die 20ste eeu 'n erkenning van die deurslaggewend-stempelende rol van energie-werking (d.i. van die fisiese aspek) in die aard van stoflike dinge en prosesse. Die artikel word afgesluit met 'n vlugtige verduideliking van die implikasies van die voorafgaande argumentasie vir 'n benadering van die misterie van die bestaan van materie.

Summary

The rise of a long-standing legacy of natural scientific thought is found in ancient Greece – the well-spring of Western civilization and the source of articulated rational reflection. The earliest phase of Greek culture already gave birth to theoretical thinking about the universe. The Pythagoreans are first of all famous for their emphasis on number as a mode of explanation. However, in their thesis that *everything is*

number they solely acknowledged rational numbers (fractions) and this approach eventually stranded on the discovery of irrational numbers that led to the geometrization of Greek mathematics. This transition generated at once also a powerful space metaphysics overarching the entire medieval period. It was only during the early modern period that the predecessors and successors of Galileo contemplated an appreciation for motion as a new principle of explanation (compare the classical mechanistic world view of the universe as a mechanism of material particles in motion). But also this mechanistic reduction (through which all physical processes were reduced to the motion of charged or uncharged mass-points) eventually failed because it was unable to account for the *irreversibility* of physical processes. As a result it was only 20th century physics that managed to acknowledge the decisive qualifying role of energy-operation (i.e. of the physical aspect) in the existence of material things and processes. This article is concluded with an explanation of the significance of the preceding considerations for a theoretical approximation of the mysterious nature of matter.

[Bladsy 94 begin]

1. Inleiding

Die werklikheidservaring van die mens is ingebed in die beleving van konkrete dinge, gebeurtenisse en samelewingsverhoudinge. Van kleins af word ons egter reeds gekonfronteer met 'n besef van die *heelal* – die ‘universe’ – en lei die verwondering tot vrae oor die begrensdeheid al dan nie van hierdie heelal. Tegelyk word ons gekonfronteer met vrae oor die *wat-heid* van die (natuur- en sosiale) entiteite en prosesse wat ons ervaar. Te midde van die misterie van alles wat bestaan ontmoet ons die geheimenis van dit wat van oudsher af aangedui is as *materie*.

Sedert de vroegste ontwikkeling van die Griekse kultuur merk ons 'n nadenke oor die aard van materie op. Hierdie nadenke bevat die strewe om nie bloot halt te roep by die besef van die misterie van wat daar *is* nie, maar om tot een of ander rasonale verklaring en verstaan daarvan te kom. Vanself is daarmee geboorte geskenk aan 'n soeke na een of ander *verklaringswyse* of *verklaringsbeginsel* met behulp waarvan ons insig kan verwerf in die aard van dit wat konkreet bestaan.

Dit is ons bedoeling in hierdie artikel om die hoofmomente van die wentelgang rakende alternatiewe *wyses van verklaring* aan die orde te stel – enersyds om die onvermydelikheid van een of ander verklaringsbeginsel te belig en andersyds om die inherente beperkinge wat in enige verklaringsbeginsel opgesluit lê na vore te bring.

2. Vertrekpunte in die Griekse kultuur

So normaal en onproblematis as wat dit mag mag klink om na die ervaringsgegewens van ons alledaagse werklikheidservaring te verwys, só moeilik en kompleks is dit om nader rekenskap te gee van die aard van hierdie konkrete verskeidenheid in die werklikheid. Watter verklaringswyses is deur die Grieke ontgin?

Die Griekse kultuur word tereg gesien as die bakermat van die Westerse beskawing en as die voedingsbodem van waaruit die sogenaamde *eksakte* natuurwetenskappe ontstaan het.

In die gerypte konsepsie van Plato het egter veral die *wiskunde* 'n prominente plek ingeneem. Sy siening in hierdie verband hang veral saam met sy strewe na *kennis* van die dinge. Daarby moet in gedagte gehou word dat hy beïnvloed is deur Kratylos wat die sieninge van Herakleitos aangehang het. Daarvolgens verander alles wat bestaan, wat beteken dat dit nie werklik in *begrip* gevat kan word nie want sodra iets in begrip gevat word het dit reeds in iets anders verander.

Dit was juis die hunkering na die onverganklike te midde van die ewig-durende stroom van verandering wat aanleiding gegee tot die soeke na 'n onderliggende beginsel wat staties-vas is en wat vir ewig bestaan. Hoewel die eerste Griekse filosowe as oorsprongsbeginsel 'n vloeiende element gekies het – soos *water* (Thales), *vuur* (Herakleitos) en *lug* (Anaksimenes) – het die swaartepunt spoedig verskuif na die idee van statiese synsvorme (bestaansvorme) wat onveranderlik en ewig is.

Die verdere ontwikkeling van nadenke oor die natuur moet uiteraard gesien word teen die agtergrond van die belangrike bydrae van die skool van Pythagoras. Die positiewe bydrae wat die Pythagoreërs gelewer het, is daarin geleë dat hulle prominent gestalte gegee het aan die insig dat rasonale kennis onvermydelik verband hou met getalsverhoudinge. Uiteraard het die algemene stelling dat *alles getal is* te ver gegaan. Tog het die skeeftrekking wat hierin opgesluit lê die algemene relatiewe verdienste dat dit 'n geleentheid gebied het om uit foute te leer. Op sigself doen dit geen afbreuk aan die *direkte* regstelling wat uit die interne ontwikkeling van die Griekse wiskunde voortgevloei het nie. Die grondstelling dat *alles getal is* berus op die oortuiging dat met behulp van die *verhouding* van heelgetalle, d.w.s. bloot deur gebruik te maak van gewone *breuke*, daarin geslaag kan word om alles getalsmatig te kan beskryf. Wat later sou bekend word as *atomisme* berus op 'n voortsetting van hierdie oorwaarding van getal as verklaringsbeginsel [95] – vanaf die atomisme van die Griekse denkers Leukippos en Demokritos¹ tot by die atomistiese verdragsteorieë insake die ontstaan van die staat voor en tydens die Verligting van die 18de eeu en die (metodologiese) individualisme van die 20ste eeuse ekonomie en sosiologie (Von Hayek, Watkins, Weber, Simmel, Popper en andere).

Die ruimtelike vorm van die kelkblare wat in die natuur aangetref word – 'n reëlmatige vyfhoek – het egter daartoe gelei dat ontdek is dat die verhouding tussen enige sy en diagonaal van 'n sodanige vyfhoek *nie* met behulp van 'n gewone breuk (rasionale getal) voorgestel kan word nie. Hierdie tekortkoming beliggaam tegelyk die ontdekking van irrasionale getalle.

Uit hoofde van die inherente spanning in die Griekse denke tussen dit wat *onbegrens* en dit wat *begrens* is, het die ontdekking van irrasionale getalle (waarin nie-repeterende oneindigheid beliggaam is) daartoe gelei dat liefers na 'n ander

¹ In die besonder verdedig atomiste die opvatting dat die eenvoudigste elemente van die werklikheid ondeelbaar is (vgl. Kawalec, 2006 en Van Melsen 1975). Van Melsen merk bykomend op dat in “most forms of atomism it is a matter of principle that any combination of atoms into a greater unity can only be an aggregate of these atoms” (Van Melsen, 1975:349).

verklaringsbeginsel gesoek is – een wat kan ontkom aan die onbegrensdeheid (oneindigheid) van getal. Die alternatiewe verklaringswyse (verklaringsmodus) wat die toneel betree het is in die aard van die *ruimte* gevind. Nie alleen bied die ruimte-aspek 'n houvas vir die aanvaarding van *statiiese vorme* nie, want dit ontgin ook die moontlikheid om enige ruimte-figuur *opeens* te oorsien – sonder enige *voor* en *na*. Skynbaar word begripsvorming daarmee afgesluit in die *hede*. In die skool van Parmenides het hierdie instelling gelei tot die gelykstelling van *denke* en *syn* – Parmenides sê: “Want denke en syn is dieselfde”.²

Dit is bekend dat Thales reeds in 585 v.C. 'n sonsverduistering reg voorspel het – weliswaar op grond van Babiloniese waarnemings. Ewe merkwaardig is die vermoë waarvoor hy beskik het om by 'n son-stand van 45° uit die skaduwee van 'n piramide die hoogte daarvan te bereken (hou in gedagte dat 'n piramide nie iets soos 'n boom is waar loodreg vanaf die voet van die boom gewerk kan word nie). Thales het reeds geweet dat die diagonale van reghoekige driehoeke ewe lank is en volgens Lorenzen vind ons inderdaad by hom die vertrekpunt van die meetkunde as 'n samehangende teoretiese sisteem (Lorenzen, 1960:45-46).

Wat onmiddellik duidelik geword het uit hierdie ontwikkeling is dat die ruimte-figure van die Griekse meetkunde *geïdealiseerd* is, wat beteken dat 'n reguitlyn, sirkel of vierkant nie sintuiglik waargeneem kan word nie maar slegs verstandelik gedink kan word. Die verantwoording wat Plato van menslike kennis gee weerspieël hierdie oortuiging, want hy stel eksplisiet dat die gevolgtrekkinge waartoe gekom word nie van sintuiglike voorwerpe gebruik maak nie:

Then by the second section of the intelligible world you may understand me to mean all that unaided reasoning apprehends by the power of dialectic, when it treats its assumptions, not as first principles, but as *hypotheses* in the literal sense, things ‘laid down’ like a flight of steps up which it may mount all the way to something that is not hypothetical, the first principle of all; and having grasped this, may turn back and, holding on to the consequences which depend upon it, descend at last to a conclusion, never making use of any sensible object, but only of Forms, moving through Forms from one to another, and ending with Forms (Politeia, 510D).

Met verwysing na Plato se dialoog *Meno*, waarin die gespreksleier die gespreksgenoot daartoe bring om 'n meetkundige bewys aan die hand van geleide vrae te lewer, merk Oskar Becker op dat daarmee geboorte geskenk is aan die opvatting dat die wiskunde *a priori* van aard is (Becker, 1965:X).³

² Diels-Kranz I, 231; Parmenides, B. Fr. 3 (*τὸ γὰρ αὐτὸ νοεῖν ἐστὶν τε καὶ εἶναι*).

³ Op die volgende bladsy (voetnoot 2) gaan Becker voort deur te sê dat in die besonder die teorie van Aristoteles rakende die oneindige en die kontinuum nog steeds relevant is vir 'n toereikende fundering van die wiskundige analise. “So ist die aristotelische Theorie des Unendlichen und des Kontinuums in ihrer eigenartigen Fragestellung noch von aktueller Bedeutung für das Problem einer wirklich adäquaten Begründung der höheren Analysis”. (Vergelyk ook Becker, 1964:69.)

Die effek van die ontdekking van irrasionale getalle was egter nie alleen dat dit tot die *geometrisering* van die Griekse wiskunde gelei het nie, want boonop het dit aanleiding gegee tot 'n spekulatiewe teorie van die werklikheid wat alles in die heelal wou verklaar bloot vanuit 'n *ruimtelike gesigspunt* (as plaasvervanger vir die agterhaalde Pythagoreïese *getalsoriëntasie*). Vir die Griekse denke het dit beteken dat *materie* in terme van ruimtelike uitgebreidheid verstaan is – tot so 'n mate dat 'n ding met die (ruimtelike) *plek* wat dit inneem vereenselwig is: 'n ding *is* sy plek.⁴ Die skool van Parmenides, in die besonder die argumente van Zeno, het in die miskennis [96] van beweging slegs die konklusies getrek van die oorspanning van die ruimtelike verklaringswyse. Indien 'n ding inderdaad sy plek *is* dan kan dit nooit van plek *verander* en beweeg nie omdat dit op 'n “wesensverandering” sou neerkom.

Die metafisiese oorspanning van die statiese aard van die ruimte het selfs tot 'n merkwaardige vertekening van die ruimtelike geheel-dele relasie gelei. Om dit goed te begryp moet allereers in gedagte gehou word dat wat ook al in ruimtelike sin *kontinu uitgebreid* is letterlik sonder einde verder verdeel kan word – in die sin dat elke verdeling opnuut verdeel kan word. Waar die oneindige oorspronklik bloot letterlik in die sin van suksessie oor alle eindige grense uitgebrei kan word (die oneindige in die oorspronklike getalsmatige sin van een, nog een, en so meer – die suksessief-oneindige) – keer die ruimtelike geheel-dele relasie die oneindige “na binne” – beliggaam in die (suksessief) *oneindige verdeelbaarheid* van 'n kontinuum. Dit behoort derhalwe tot die *sin* van die ruimtelike geheel-dele relasie dat (getals)*veelheid* daarin veronderstel is – naamlik in die moontlikheid van 'n veelheid van nimmer-eindigende verdelings.

Die merkwaardige situasie is egter dat Parmenides se ruimte-metafisika Zeno daartoe geïnspireer het om 'n siening van 'n “enkelvoudige” of “unitêre geheelheid” voor te staan wat enige vorm van veelheid *uitsluit!* Met ander woorde, Zeno wil die “deel” element van die ruimtelike geheel-dele relasie *ontken* maar tegelyk vashou aan die *geheelheid* (die *totaliteits* karakter) daarvan. Zeno verdedig die oortuiging dat die syn (die werklikheid) tegelyk *één* en *onverdeelbaar* is. Die rede waarom Zeno *veelheid* as iets innerlik-kontradiktories waardeer, is geleë in die feit dat veelheid 'n aantal (ondeelbare) eenhede vereis maar tegelyk impliseer dat die werklikheid *verdeelbaar* is (vgl. Guthrie, 1980:88). Verdeelbaarheid bedreig egter die *eenheid* van 'n geheel aangesien enigiets wat verdeelbaar is 'n grootheid moet wees wat *oneindig verdeelbaar* is. Die vermeende *ondeelbaarheid* van 'n eenheid staan eenvoudig op gespanne voet met die oneindige verdeelbaarheid daarvan. Guthrie maak die gevolgtrekking: “Hence, since plurality is a plurality of units, there can be no plurality either” (Guthrie, 1980:89).

Die antinomieë van Zeno (waar onder sy argumente oor Achilles en die skilpad en die vlieënde pyl) verteenwoordig die beginpunt van 'n lang spekulatiewe tradisie waarin

⁴ Enersyds moet daarop gewys word dat beswaarlik beweer kan word dat Parmenides oor 'n selfstandige ruimte-begrip beskik het en andersyds beskik hy nie oor die idee van 'n leë ruimte nie – as 'n ding sy plek is, dui die afwesigheid van daardie ding op die afwesigheid van die subjek waarop die predikaat ‘plek’ toegepas kan word. Herman Fränkel skryf: “Wieweit es für Parmenides schon den Begriff eines selbständigen *Raumes* gab, bleibe dahingestellt. Mit der Behauptung einer vollständigen Ausfüllung ... wird der bloße, eventuell leere Raum eher geleugnet als anerkannt“ (Fränkel, 1968:181, note 4).

die sin van die ruimte metafisies ontgin is in die konteks van 'n spekulatiewe sinsleer wat vermeend in God – as die Hoogste Syn (die *ipsum esse*) – sy sluit-punt sou vind.

In die verwisseling van twee *verklaringswyses* wat losgemaak is van die innerlike verbondenheid wat tussen beide bestaan (en wel deur 'n poging aan te wend om die ruimte-perspektief as alternatief vir die getalsperspektief in te span), het daar meervoudige skeeftrekkings ontstaan. Die skool van Parmenides het wel tereg besef dat ruimte-verhoudinge 'n oorspronklike verklaringsbeginsel daarstel, maar in die poging om ruimte te “suiwer” van getal en beweging het dit juis 'n funderende kondisie van die ruimte, naamlik die aard en sin van 'n menigvuldigheid, sêlf in die gedrang gebring. Deur die samehang met 'n funderende getalsmenigvuldigheid te misken het Zeno enersyds die sin van getal (menigvuldigheid) versteur en tegelyk ook tot 'n skeeftrekking van die sin van die ruimte gekom (deur die verdeelbaarheid van 'n ruimtelike kontinuüm te bevraagteken). Die oneindige verdeelbaarheid van 'n ruimtelike geheel herinner immers aan (verteenvoortwoordig 'n analogie van) die oorspronklike suksessiewe getalsin wat aan die sin van die ruimte ten grondslag lê. Ons het tewens reeds opgemerk dat die aard van ruimtelike kontinuïteit bloot die *eindeloosheid* van numeriese oneindigheid (die *suksessief-oneindige*) “na binne keer” in die oneindige verdeelbaarheid van 'n kontinuüm (deur die moderne wiskundige onderken as die *digtheid* van breuk-intervalle omdat die rasionale getalle op hul beurt hierdie ruimtelike verdeelbaarheid analogies weerspieël).

Net so min as wat getal losgemaak kan word van die samehang daarvan met ander fasette van die werklikheid kan ruimte losgemaak word van getal. Selfs in die mees ekstreme voorbeelde van aritmetisisme in die moderne wiskunde, waarin 'n poging aangewend word om die sin van die ruimte-aspek volledig tot die getalsaspek te herlei, word nog altyd iets by die ruimte-aspek *geleen* (soos byvoorbeeld blyk uit die spreke van 'n *getalsgebied*, of, in die geval van die aksiomatiese [97] versamelingsleer, waar dit blyk uit die *onvermydelikheid* van 'n ongedefinieerde ‘primitiewe’ term wat op die ruimtelike geheel-dele relasie appelleer – soos die term *versameling* of die frase *element van*) (vgl. Fraenkel et.al., 1973:21 ff).

Die oorspronklike aritmetiese sin van 'n enkelvoudige (ondeelbare) één(heid) is *nie-oorspronklik* in die ruimte, want in die ruimte bied die *grootte* van 'n uitgebreide ruimte-figuur 'n alternatiewe konteks vir die term *eenheid* aangesien 'n *ruimtelike eenheid* 'n egte *geheel* of *totaliteit* daarstel, 'n “eenheidsgeheel” wat juis *oneindig verdeelbaar* is.⁵ Die spekulatiewe (metafisiese) idee van 'n *unitêre geheel* wat

⁵ Die wiskundige dimensie-teorie ontgin die aard van dimensie as 'n orde van uitgebreidheid. Die gewone natuurlike getalle 0, 1, 2, 3, ... word hiervoor benodig, wat beteken dat die aard van ruimtelike dimensies slegs sin uitmaak in samehang met die funderende rol van getal. In metriese ruimtes speel die begrip grootte 'n korrelerende rol, want in één dimensie ontmoet ons feitlike ruimtelike uitgebreidheid in die gestalte van een-dimensionele grootte – soos 'n reguit lyn. In twee dimensies ontmoet ons twee-dimensionele grootte, naamlik *oppervlakte*, en so meer. Beide in die aard van 'n *veelheid* dimensies en in die aard van die *maat* (grootte) van ruimte-figure met oorspronklike ruimtelike uitgebreidheid ontmoet ons derhalwe die onverbreeklike samehang tussen getal en ruimte. Op die voetspoor van die Franse wiskundige H. Poincaré het die Nederlandse intuïtionistiese wiskundige, L.E.J. Brouwer in 1913 'n roemryke bydrae tot die ontwikkeling van die dimensie-teorie gemaak en wel met sy bewys van die *invariansie* van die dimensie-getal (vgl. Brouwer, 1911 en Brouwer, 1924). Brouwer het 'n topologies-invariante definisie van dimensie ontwikkel wat in 1922 onafhanklik van hom deur Menger and Urysohn herskep en verbeter is (vgl. Hurewicz & Wallman, 1959 en Alexandroff, 1956:165, 167 note 12).

veelheid uitsluit beroof beide getal en ruimte van hul unieke aard asook van die onverbreeklike samehang tussen beide.

Met betrekking tot die aard van materiële dinge is die belangrikste gevolg dat die Grieks-Middeleeuse erfenis slegs *konkrete stoflike uitgebreidheid* ken. Uitgebreidheid karakteriseer die aard van materiële dinge.

3. Oorgang na die moderne tyd

Die Aristoteliese tradisie was enersyds daarvan oortuig dat hemelliggame ander wette gehoorsaam as dinge op die aarde en andersyds is daar geglo dat die beweging van enige ding 'n *oorsaak* benodig. Dit is juis die probleem van *beweging* wat langamerhand 'n al meer prominente plek begin inneem het. Dit het weliswaar geensins beteken dat die magtige invloed van die klassieke *ruimte-metafisika* opeens die wyk sou neem nie. Die mag van die ruimte-oriëntasie spreek immers nog duidelik by Descartes (1596-1650) en selfs Immanuel Kant (1724-1804) want albei hierdie denkers het nog steeds 'n deurslaggewende plek in hul verstaan van die fisiese natuur aan die aard van *ruimtelike uitgebreidheid* toegeken. By eersgenoemde tref ons immers die gedagte aan dat uitgebreidheid die wesenseienskap van materie is (*res extensa*)⁶ en laasgenoemde karakteriseer stoflike liggame nog steeds wesenlik as *ruimtelik* van aard.⁷ Dit behoort ons gevolglik glad nie te verbaas nie dat Descartes die eienskap van (matematiese) kontinuïteit sonder meer op stoflike dinge (en selfs atome – wat sedert die Griekse denke veronderstel was om die laaste *ondeelbare* materie-deeltjies te wees) van toepassing gemaak het nie. Hy argumenteer immers pertinent dat daar geensins atome of materie-deeltjies kan bestaan wat inherent ondeelbaar is nie: “We likewise discover that there cannot exist any atoms or parts of matter that are of their own nature indivisible” (Descartes, 1965a:209; Deel I, XX). En in dieselfde afdeling (XX) voer hy selfs die idee van God in om die oneindige verdeelbaarheid van materie aanvaarbaar te maak. Sy argument is dat hoewel God 'n deeltjie só klein kan maak dat dit deur geen *skepsel* verdeel kan word nie, dit nogtans nie 'n grens aan die verdelingsvermoë van die (almagtige) God kan stel nie. Gevolglik moet aangeneem word dat materie inderdaad oneindig verdeelbaar is: “Wherefore, absolutely speaking, the smallest extended particle is always divisible, since it is such of its very nature.” Dat Descartes nog steeds aan uitgebreidheid as wesenskenmerk van materie vashou beliggaam sy verbondenheid aan die eeuelange Griekse-Middeleeuse tradisie, wat hy egter oor die (oneindige) verdeelbaarheid van materie te sê het adem daarenteen reeds die gees van die vroeg-moderne funksionalistiese instelling – 'n oriëntasie wat spoedig konkrete dinge volledig sou probeer verklaar in *funksionele* terme. Descartes self het tegelyk tewens ook reeds aan beweging aandag geskenk – wat hy gedefinieer het as die “action by which a body passes from one

⁶ “That the nature of body consists not in weight, hardness, colour, and the like, but in extension alone” (Descartes, 1965a:200 – Deel I, IV).

⁷ Wanneer die verstand alles wat by die voorstelling van 'n liggaam gedink word agterweë laat (soos substansie, krag, deelbaarheid, e.s.m.) en insgelyks ook alles wat tot gewaarwording behoort afsonder (soos ondeurdringbaarheid, hardheid, kleur, e.s.m.) dan bly slegs *uitgebreidheid* en *vorm* oor: “So, wenn ich von der Vorstellung eines Körpers das, was der Verstand davon denkt, als Substanz, Kraft, Teilbarkeit usw., imgleichen, was davon zur Empfindung gehört, als Undurchdringlichkeit, Härte, Farbe usw. absondere, so bleibt mir aus dieser empirischen Anschauung noch etwas übrig, nämlich Ausdehnung und Gestalt“ (Kant, 1781/1787-B:35).

place to another” (Descartes, 1965a:210; Deel I, XXIV). Hierdie nuwe gesigspunt staan op die kruispad van die oorgang van die Middeleeue na die moderne tyd en vra vervolgens ons aandag.

4. Die nuwe kinematiese verklaringsperspektief

Hoewel Buridan (vroeg 14^{de} eeu) met sy *impetus*-teorie die heersende prominensie van ruimtelike uitgebreidheid help ontwortel het – en daarmee die oorgang na die vroeg moderne tyd aangehelp [98] het – moet in gedagte gehou word dat die *impetus*-gedagte opsigself geensins gelykgestel kan word aan die aard van *inersie* nie. Die opvatting bestaan immers dat die meganika van Buridan en dié van die klassieke fisika so diepgaande ooreenstem dat met die *impetus*-teorie prakties reeds uitdrukking gegee is aan die *traagheidswet* (*inersie*). Hierdie ooreenkoms is *eerstens* daarin gesoek dat daar 'n korrelasie sou bestaan tussen die skolastiese siening van *impetus* en die dinamiese element van traagheidsbeweging en *tweedens* is gemeen dat Buridan in sy aanname dat *impetus* permanensie besit reeds die wet ontdek het waarvolgens beweging wat deur niks gesteur word nie ewig-durend sal wees (vgl. Maier, 1949:142).

Opvallend is weliswaar dat 'n *impetus* wat as bewegingskrag in 'n hemelsfeer oorgedra is (wat veronderstel is om *sirkelvormig* te verloop) *weerstandsvry* is en derhalwe vergelyk sou kon word met die onderliggende idee van *inersie* – wat egter oor 'n *eenparige* of *uniforme* beweging handel (d.w.s. 'n *reglynige* beweging) en nie oor 'n *sirkelvormige* beweging nie. Wat op aarde gebeur verskil derhalwe van wat in die hemelruim gebeur. Ooreenkomstig die Skolasties-Middeleeuse opvatting kan 'n krag wat deur geen weerstand teengewerk word nie geen beweging te voorskyn bring nie. Maar aangesien *impetus* kunsmatig en met geweld opgedring word aan een of ander hindernis (d.i. 'n steurende bewegingskrag) word sodanige hindernis slegs te bowe gekom deurdat die *impetus* sêlf versteur word wanneer die hindernis ‘oorweldig’ word. Die deurslaggewende verskil tussen die twee opvattinge is egter te vind in daardie element van traagheidsbeweging waarvan *nie* geabstraheer kan word nie, met name die traagheid van die bewegende massa-punt.⁸ Van uitwendige hindernisse en kragte kan afgesien word, maar daar kan nie geabstraheer word van dit wat deurslaggewend is vir traagheid nie, naamlik van die *massa* van dit wat beweeg nie. Laasgenoemde is volgens die klassieke meganika die werklike faktor in die kontinuering van beweging (*inersie*). In die geval van die *impetus*-teorie dien hierdie traagheidsmassa as *weerstand* (*hindernis*) vir die beweging en die *impetus* wat dit veroorsaak het. Gevolglik is bestaan daar 'n onoorbrugbare kloof tussen die *impetus*-teorie en die basis-idee van *inersie* (naamlik die moontlikheid van 'n immer-durende *reglynige* beweging).⁹

Galileo self het in terme van 'n gedagte-eksperiment sy wet van *inersie* geformuleer. Gestel 'n liggaam beweeg op 'n *hindernisvrye baan* wat tot in die *oneindige* uitgestrek is, dan sal hierdie beweging eenvoudig eindeloos gekontinueer word. Teenoor die tradisionele Aristoteliëse-Skolastiese opvatting waarvolgens die beweging van 'n

⁸ In die klasieke meganika is die eenvoudigste subjek 'n *massa-punt*.

⁹ Maier skryf tereg: “Es gibt also gar keinen Ausweg: die Möglichkeit einer in infinitum daurenden gleichförmigen Bewegung des projectum ist von Standpunkt der Impetustheorie aus grundsätzlich ausgeschlossen” (Maier, 1949:148).

liggaam van 'n veroorsakende *krag* afhanklik sou wees, impliseer die traagheidswet dat beweging 'n *gegewe* is wat nie uit iets anders *afgelei* of *verklaar* kan word nie. Dit is oorspronklik en uniek en beliggaam inderdaad 'n *onderskeie verklaringswyse* – verskillend van *getal* (die Pythagoreërs) en *ruimte* (die ruimte-metafisika in die tradisie van die Eleatiese skool van Parmenides). As beweging nie 'n veroorsakende krag benodig nie, dan kan hoogstens gepraat word van *verandering* van beweging (*versnelling* of *vertraging*) – en dít benodig 'n *fisiese krag*.¹⁰

Die idee van 'n eenparige (reglynige) beweging verruim enersyds inderdaad die inherente beperkinge wat in *getal* en *ruimte* as verklaringswyses opgesluit lê, maar tegelyk open dit die weg tot besinning oor 'n verdere verhoudingsprobleem wat ook reeds die aandag van die Griekse denke getrek het. Hierdie probleem betref die relasie tussen *duursaamheid* (dink aan die aard van *inersie*) en *dinamiek* (dink aan 'n *verandering* van beweging wat 'n fisiese krag benodig). Plato het reeds besef dat indien alles *verander* kennis onmoontlik sal wees – en gevolglik het hy sy spekulatiewe teorie van bo-sinnelike ewige, statiese synsvorme ontwerp om 'n duursame houvas te bied vir kennisvorming.¹¹ Die belangrike insig waartoe Plato nogtans gekom het, is dat *verandering* slegs vasgestel kan word op die basis van iets wat *duursaam* is. Hierdie insig verplig ons egter geensins om saam met Plato 'n metafisiese ryk van statiese vorme in te voer as fundering van kennis nie, al is dit ook waar dat die Platoniese oplossing 'n bekoring sou bly inhou vir latere generasies. Selfs die bekende en hooggewaardeerde logikus-wiskundige, Gottlob Frege, is oortuig daarvan dat indien daar nie te midde van die voortgaande vloeï iets standhoudend, iets met ewige duursaamheid sou bestaan nie, die kenbaarheid van die wêreld opgehef sou word en dat alles in [99] verwarring sou ineenstort.¹² Die korrekte natuurwetenskaplike uitwerking van Plato se insig, naamlik dat verandering duursaamheid (konstantheid) veronderstel, vind ondubbelsinnig beliggaming in Einstein se relatiwiteitsteorie. Hy plaas teweens die idee van die (konstante) snelheid van lig in 'n vakuum in die sentrum van sy teorie.¹³

'n Bepaalde tweeslagtigheid word weliswaar by Descartes en sy nakomelinge aangetref, want ten spyte van die feit dat hulle uitgebreidheid as “wesenseienskap” van materie beskou, het hulle tegelyk die suiwere kinematiese ideaal nagestreef om alles wat bestaan en gebeur uitsluitlik uit beweging te wil verklaar (vgl. Maier,

¹⁰ Die bekende Duitse fisikus Von Weizsäcker merk op: “Da das Trägheitsgesetz gezeigt hat, daß keine Kraft nötig ist für eine Änderung des Orts, ist es das natürlichste, anzunehmen, die Kraft verursacht eine Änderung der Geschwindigkeit, oder, wie Newton sagt, der Bewegungsgröße” (Von Weizsäcker, 2002:172).

¹¹ Te midde van alle verandering is die *outo to eidos* (die *eie wese*) van elke ding onttrek aan verandering, dit staan ewig-vas (Kratylos, 439 c – 440 a).

¹² “Wenn in dem beständigen Flusse aller Dinge nichts Festes, Ewiges beharrte, würde die Erkennbarkeit der Welt aufhören und alles in Verwirrung stürzen” (Frege, 1884:VII – Einleitung).

¹³ Hoewel hy meerdere male bloot praat van “das Prinzip der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit” (vgl. Einstein, 1982:32), bedoel hy natuurlik “das Prinzip der Vakuumlichtgeschwindigkeit” (Einstein, 1982:30-31; vgl. Ook Einstein, 1959:54). Hieruit volg onder meer dat Einstein in die eerste plek 'n teorie van *konstansie* ontwikkel het. Dit is bloot 'n konsessie aan die historistiese tydsges aan die begin van die 20ste eeu dat hy die term “relatiwiteit” vooropgestel het. Alle beweging is teweens *relatief* met betrekking tot die *konstante c*.

1949:143).¹⁴ Dit is algemeen bekend dat Thomas Hobbes die volle tree gegee het in sy vermeende rasionele heropbou van die ganse heelal. Ooreenkomstig die nuutgevestigde natuurwetenskapsideaal breek hy die werklikheid eers teoreties af tot 'n puinhoop en dan gaan hy voort, met 'n doelbewuste toespeling op die Bybelse skeppingsverhaal, om 'n *nuwe* werklikheid element vir element rasioneel te rekonstrueer – en die grondbegrip wat hierdie rasionele rekonstruksie begelei is die begrip “bewegende liggaam”. Hobbes was reeds vertrouwd met Galilei se meganika en gevolglik was dit vir hom geensins problematies om *beweging* as verklaringswyse te benut nie.

Galilei span as 't ware die kroon op die lang geskiedenis van die natuurkunde wanneer hy die gemelde drie verklaringswyses inspan om van die eienskappe van *materie* rekenskap te gee. Hy verreken immers aritmetiese eienskappe (telbaarheid), geometriese eienskappe (vorm, grootte, posisie, kontak) en kinematiese eienskappe (beweging) (vgl. Hucklenbroich, 1980:291).¹⁵

Sodra die kinematiese verklaringswyse in eie reg erken word, verval, soos ons terloops reeds opgemerk het, die noodsaak om 'n *bewegende oorsaak* vir beweging te vind. Dit is net so onvanpas as wat die klassieke teenstelling tussen *rus* en *beweging* is – in terme van die kinematika is “rus” immers 'n bewegingstoestand (vgl. Stafleu, 1987:58). Unieke (en onherleibare) verklaringswyses staan nie in 'n relasie van *opposisie* nie – hoogstens in 'n onverbreeklik-samehangende verband.¹⁶

5. 'n Verdere verklaringswyse: krag en energie-werking

Hoewel Descartes en Newton onder meer met die begrip krag gewerk het, kan gesê word dat die moderne fisika sedert Newton globaal gesien nogtans gestempel is deur 'n meganistiese hoof tendens waarin alle fisiese verskynsels konsekwent probeer herlei is tot 'n kinematiese perspektief. In die lig van wat ons hieronder in die teks oor die tweede hoofwet van die termodinamika en die verband tussen onomkeerbaarheid en die onherleibaarheid van die fisiese verklaringsperspektief opmerk, is dit duidelik dat die 19de eeuse fisika reeds 'n oog ontwikkel het vir die unieke eie-aard van die fisiese verklaringsperspektief. Teen die einde van die 19de eeu is daar selfs eksplisiet aandag gegee aan die aard van *energie*, met name in die gedagte-wêreld van Wilhelm Ostwald (die grondlegger van die fisiese chemie). Die sogenaamde “Energetik” van Ostwald het selfs 'n invloed uitgeoefen op die latere opvattinge van Werner Heisenberg. Vogel verwys na Heisenberg se geskrif “Wandlungen in den Grundlagen der Naturwissenschaft” (Stuttgart 1949) waar laasgenoemde eksplisiet van energie praat as die *grondstof* wat in drie stabiele vorme (elektrone, protone en neutrone) die *materie* konstitueer (Vogel, 1961:37). Nogtans het die *Energetik* van Ostwald nie 'n algemeen-duursame invloed op die 20ste eeuse fisika uitgeoefen nie, waarskynlik omdat dit aan 'n bepaalde kontinuïtatsopvatting gekoppel was wat teenoor die

¹⁴ Maier merk op dat “Descartes und seine Schule” inderdaad 'n “rein phoronomisches Ideal verfolgten und alles Sein und Geschehen in der Welt lediglich aus Bewegungen erklären wollen.”

¹⁵ “G. Galilei zählt als primäre Qualitäten der Materie arithmetische (Zählbarkeit), geometrische (Gestalt, Größe, Lage, Berührung) und kinematische Eigenschaften (Beweglichkeit) auf”.

¹⁶ Terloops kan daarop gewys word dat Lakoff en ten onregte diskreetheid (getal) en kontinuïteit as ‘opposites’ beskou sonder dat besef word dat dit om twee unieke maar wederkerig-samehangende aspekte van die werklikheid handel (vgl. Lakoff en Núñez, 2000:324).

atomisme gestel is. In sy geskrif oor *atoomteorie en natuurbeskrywing* verwys Niels Bohr spesifiek na die oordrewe skepsis van Ostwald t.o.v. die bestaan van atome.¹⁷

Nogtans moet toegegee word dat daar gedurende die 19de eeu genoegsame tendense na vore getree het om die lank oorheersende meganistiese hoof tendens van die klassieke fisika te deurbreek. Teen die einde van die 19de eeu is Heinrich Hertz gevolglik die laaste groot fisikus gewees wat nog konsekwent vasgehou het aan hierdie *kinematiese reduksie*. Kort na sy dood in 1894 het sy omvattende teoretiese werk oor die beginsels van die meganika (ontwikkel in 'n nuwe konteks) [100] verskyn. Hy beperk homself eksplisiet – getrou aan die vertrekpunt wat reeds deur Galilei aan die meganistiese tradisie gebied is – tot *getal*, *ruimte* en *beweging* as verklaringsprinsipes – verteenwoordig in die begrippe *massa*, *ruimte* en *tyd*.¹⁸ Die sistematiese konsekwensie is dat hy die mening toegedaan was dat die *krag-begrip* innerlik-teenstrydig is (vgl. Katscher, 1970:329). Selfs Bertrand Russell het trou gebly aan hierdie erfenis waar hy in sy *Principles of Mathematics* (1903) die begrip *krag* eenvoudig diskwalifiseer as 'n *fiksie* (Russell, 1956:482; vgl. 494 e.v.).¹⁹

Sodra die fisiese aspek van die werklikheid bykomend as verklaringswyse erken word open dit die weg tot die 20ste eeuse fisika en daarmee saam tot 'n meer genuanseerde verstaan van die werklikheid. Die vier aspekte wat tot dusver as verklaringsprinsipes na vore gekom het fundeer byvoorbeeld die verskillende metingsgrootthede wat Paul Lorenzen in sy “protofisika” onderskei: *massa*,²⁰ *lengte*, *duur* en *lading* (Lorenzen, 1976:1 e.v.).

'n Dekade nadat Max Planck die “Wirkungsquantum” ontdek het, het hy in 'n voordrag pertinent gewys op die innerlike onhoudbaarheid van die meganistiese natuuropvatting.

Die natuurbeskouing wat tot op die hede die belangrikste diens aan die fisika gelewer het is ongetwyfeld die meganiese. Bedink daarby dat dit daarvan uitgaan dat alle kwalitatiewe verskille in laaste instansie deur

¹⁷ Vergelyk Niels Bohr, *Atomtheorie und Naturbeschreibung* (Berlin 1931:60 en p. 12), aangehaal deur Vogel, 1961:35).

¹⁸ Vergelyk hierby die insig van Kant rakende drie *modi* van die tyd wat hy onderskei – altans wanneer hy vir 'n oomblik ontsnap aan die transendentale estetika se idee dat tyd 'n *innerlike psigiese aanskouingsvorm* is. In sy *Kritiek van die Suiwere Rede* skryf Kant immers dat die drie modi van die tyd *suksessie*, *gelyktydigheid* en *duursaamheid* is (Kant, 1787-B:219): “Die drei modi der Zeit sind *Beharrlichkeit*, *Folge* und *Zugleichsein*”. [*Suksessie* hou verband met die aritmetiese tydsorde van opeenvolging, *gelyktydigheid* verteenwoordig die ruimtelike tydsorde en *duursaamheid* die kinematiese tydsorde. Al drie hierdie tydsordes is *omkeerbaar*.]

¹⁹ Meer resent lees ons nog by Von Weizsäcker, in sy behandeling van Kant se materie-begrip en sy siening van die suiwere fisika, dat die bewegingsbegrip met die snelheidsbegrip die grondbegrip van alle egte wetenskap is (Von Weizsäcker, 2002:196, noot). Hierdie bewegingsoriëntasie is weliswaar 'n skrede verder as Kant, wat nog geglo het dat daar in elke egte natuurleer slegs soveel wetenskap aangetref word as wat wiskunde daarin aanwesig is: “Ich behaupte aber, daß in jeder besonderen Naturlehre nur soviel *eigentliche* Wissenschaft angetroffen werden könne, als darin *Mathematik* anzutreffen ist” (Kant, 1786:IX).

²⁰ Die Latynse benaming van *massa* gedurende die middeleeue was “*quantitas materiae*” (sien Maier, 1949:144), waaruit blyk dat *getal* (*quantitas*) 'n prominente plek in die begrip *massa* beklee. Waar die begrip *massa* weliswaar 'n *fisiese* hoeveelheid (kwantiteit) aandui, is dit ook moontlik om vanuit die bewegingsaspek na die energie-hoeveelheid van iets wat beweeg te kyk, in welke geval die tegniese uitdrukking *kinetiese energie* is (dit dui op die aksie-vermoë wat inherent aan 'n bewegende liggaam is – vgl Maier, 1949:142).

beweging verklaar kan word, dan durf ons die meganiese natuurbeskouing wel definieer as die beskouing dat alle fisiese prosesse volledig tot die *beweginge* van onveranderlike, gelyksoortige massa-punte of massa-elemente teruggevoer kan word (Planck 1973:53).²¹

Sedertdien is die onderskeiding tussen die kinematiese en fisiese aspekte van die werklikheid algemeen bekend by fisici. Janich verduidelik die trefwydte van hierdie onderskeiding met 'n voorbeeld uit die profotofisika. Hy stel dat die uitspraak dat 'n liggaam sy snelheid slegs kontinu kan verander deur die moderne fisika slegs *dinamies* verstaan kan word. Snelheidsveranderinge behels versnelling, wat beteken dat dit as die tweede afgeleide van die baan ooreenkomstig die tyd gedefinieer word. Die tyd word deur die fisika as 'n parameter behandel. Daaraan word deur 'n horlosie bepaalde homogeniteitsverwagtinge verbind. In betrokkenheid op 'n sodanig gekose parameter-masjien kan 'n liggaam sy snelheid derhalwe nie diskontinu, d.w.s. met 'n oneindig-grootte versnelling verander nie, omdat daarvoor 'n krag van oneindige grootte nodig sou wees.²²

Die idee van 'n aantrekkingskrag – aanvanklik bedink in verband met magnetisme – het Newton eventueel tot die insig gebring dat magnetisme 'n krag is wat nie deur beweging verklaar kan word nie – veeleerder moet beweging in eie reg as 'n onderskeie verklaringsbeginsel benut word. Natuurlik beteken dit dat ook die fisiese aspek in eie reg as 'n verklaringswyse erken en benut moet word. Stafleu wys daarop dat die verwerping van die Aristoteliese onderskeiding tussen die fisika van hemelliggame en die fisika van dinge op aarde by Newton – op die voetspoor van Galilei en Descartes – daartoe gelei het dat besef is dat dieselfde (fisiese) wette op albei domeine van toepassing is (Stafleu, 1987:73). Hy wys ook daarop dat Newton (net soos Kepler) reeds *krag* waardeur het as 'n verklaringsbeginsel wat onafhanklik is van beweging (Stafleu, 1987:76). Vervolgens som hy hierdie proses waarin die fisiese aspek as 'n verklaringsbeginsel in eie reg na vore getree het soos volg op:

In Newtonian mechanics, a force is considered a relation between two bodies, irreducible to other relations like quantity of matter, spatial distance, or relative motion. Though an actual force may partly depend on

²¹ “Diejenige Naturanschauung, die bisher der Physik die wichtigsten Dienste geleistet hat, ist unstreitig die mechanische. Bedenken wir, daß dieselbe darauf ausgeht, alle qualitativen Unterschiede in letzter Linie zu erklären durch Bewegungen, so dürfen wir die mechanische Naturanschauung wohl definieren als die Ansicht, daß alle physikalischen Vorgänge sich vollständig auf *Bewegungen* von unveränderlichen, gleichartigen Massenpunkten oder Massenelementen zurückführen lassen.” Einstein is ook ewe eksplisiet in sy negatiewe houding teenoor “the mechanistic framework of classical physics” (Einstein, 1985:146).

²² “Die Tragweite einer strengen Unterscheidung phoronomischer (im folgenden kinematisch genannt) und dynamischer Argumente möchte ich an einem Beispiel erläutern, das ... aus der Protophysik stammt. Die Aussage ‘ein Körper kann seine Geschwindigkeit nur stetig ändern’ kann von der modernen Physik nur dynamisch verstanden werden. Geschwindigkeitänderungen sind Beschleunigung, d.h. als Zweite Ableitung des Weges nach der Zeit definiert. Zeit wird von der Physik als ein Parameter behandelt, an dessen Erzeugung durch eine Parametermaschine (“Uhr”) de facto bestimmte Homogenitätserwartungen geknüpft sind ... Bezogen auf den Gang einer angeblich so ausgewählten Parametermaschine kann eine Körper seine Geschwindigkeit deshalb nicht unstetig, d.h. mit unendlich große Beschleunigung ändern, weil dazu eine unendlich große Kraft erforderlich wäre” (Janich, 1975:68-69).

mass or spatial distance, as is the case with gravitational force, or on relative motion, as is the case with friction, a force is conceptually different from numerical, spatial or kinematic relations (Stafleu, 1987:79).

Dit is daarom begryplik dat die 20ste eeuse fisika uiteindelik moes erken dat energie-werking deurslaggewend is vir die aard en verstaan van die fisiese wêreld, soos treffend vasgelê in Einstein [101] se beroemde formule $E = mc^2$. Tegelyk is besef dat fisiese prosesse *onomkeerbaar* is, 'n verdere oorweging op grond waarvan die unieke eie-aard van die fisiese aspek verreken moet word, want (soos Einstein en Planck beide tereg opmerk) suiwer kinematies gesien is alle prosesse *omkeerbaar*. Einstein verwys na Boltzmann wat besef het dat termodinamiese prosesse wesenlik onomkeerbaar is.²³ Reeds in 1824 het Carnot prinsipieel onomkeerbare prosesse ontdek – 'n ontdekking wat gelyktydig in 1850 onafhanklik van mekaar deur Clausius en Thomsom uitgewerk is tot die tweede hoofwet van die termodinamika (die wet van nie-afnemende entropie). Hierdie wet verantwoord die prinsipiële onomkeerbaarheid van natuurprosesse in enige geslote sisteem. Clausius het die term entropie egter eers in 1865 ingevoer. Die formulering wat Thomson in 1852 gegee het stel dat alle beskikbare energie na verspreiding streef, dat dit derhalwe op eenvormige verstrooiing gerig is (sien Apolin, 1964:440 en Steffens, 1979:140 e.v.). Daarom merk Max Planck tereg op dat “die onomkeerbaarheid van natuurlike prosesse die meganistiese natuuropvatting” voor “onoorkomelike probleme geplaas” het (Planck, 1973:55).

Dit is eers op die basis van 'n insig in die funderende plek van die kinematiese aspek t.o.v. die fisiese aspek dat die eerste hoofwet van die termodinamika reliëf ontvang, aangesien die intensie van die wet van “energiebehoud” skerper na vore tree wanneer daarna verwys sou word as die wet van *energie-konstansie*.

Dat hierdie insig in die funderende samehang van konstansie en dinamiek (duursaamheid en verandering) uiteraard ook relevansie besit vir alle nie-fisiese dissiplines belig ons aan die hand van 'n enkele voorbeeld. Wanneer De Saussure sê dat tyd die kontinuïteit van taal verseker (“insures the continuity of language”) dan skenk hy oorweging aan twee “apparently contradictory” invloede, want volgens hom kan in 'n sekere sin tegelyk gepraat word van die “immutability and the mutability of the sign” (De Saussure, 1966:74). Die persone wat hierdie werk van De Saussure uitgegee het was ongemaklik met hierdie stelling en het gevolglik die volgende verduidelikende voetnoot daaraan toegevoeg: “It would be wrong to reproach F. de Saussure for being illogical or paradoxical in attributing two contradictory qualities to language. By opposing two striking terms, he wanted only to emphasize the fact that language changes in spite of the inability of speakers to change it. One can also say that it is intangible but not unchangeable. [Ed.]”. Indien konstansie (duursaamheid) en verandering op dieselfde aspek van die werklikheid geappelleer het, sou dit inderdaad 'n logiese teenstrydigheid bevat om beide in een asem te noem – maar danksy die feit dat beide unieke en onherleibare verklaringsprinsipes verteenwoordig, is daar niks onlogies in die erkenning van kontinuïteit te midde van verandering nie. Weliswaar moet toegegee word dat die frase “kontinuïteit te midde van verandering” verkieslik

²³ “Er hat damit das Wesen der im Sinne der Thermodynamik ‘nicht umkehrbaren’ Vorgänge erkannt. Vom molekular-mechanischen Gesichtspunkte aus gesehen sind dagegen alle Vorgänge umkehrbar” (Einstein, 1959:42).

is. “Immutability” is bloot 'n ontkenning van “mutability” en belig daarom nie werklik die bedoelde samehang van konstansie en verandering nie.

6. Die misterie van die materie – slegs te *benader* vanuit onderskeie verklaringsperspektiewe

Teen die agtergrond van die vier verklaringswyses wat in die gang van die geskiedenis prominensie verwerf het, wil ons nou 'n paar gesigspunte insake die wyse waarop *materie* verstaan is na vore bring.

Allereers moet daarop gewys word dat elkeen van die vier gesigspunte by wyse van spreek 'n kans gekry het om die toneel vir 'n bepaalde tyd te oorheers. Op hierdie stadium van ons gedagtegang moet egter ook daarop gewys word dat al vier die gemelde verklaringswyses wat suksessief in die verloop van die geskiedenis die toneel betree het ongespesifiseerd is in die *reikwydte* of *skopus* daarvan. Wat ook al konkreet bestaan, funksioneer binne die universele kader van hierdie bestaansmodi of bestaanswyses. Geen enkele ding ontkom gevolglik daaraan om in al vier hierdie aspekte te funksioneer nie. Dit gaan hier om wat aangedui kan word as die *modale universaliteit* van elke aspek. Getalswette, ruimte-wette, kinematiese wette en fisiese wette is [102] sonder enige nadere spesifikasie letterlik op *alles* wat daar in die heeal is van toepassing. Dergelike funksionele (modale of aspek-)wette moet derhalwe onderskei word van *tipesie wette*, d.i. van wette wat nie bloot op een of ander aspek betrekking het nie, maar wat gespesifiseerd is m.b.t. die *tipe-aard* van 'n onderskeie en daarom *bepaalde* groep (of kategorie van) konkrete entiteite. Die wet vir atome is slegs van toepassing op atome en nie ook op bome, state of skilderye nie. Enersyds is dit *universeel* – dit bepaal en begrens die aard van *alle* atome, en andersyds is dit gespesifiseerd – dit geld slegs vir atome en nie vir enige ander tipe ding of entiteit nie.

Newton se formulering van die gravitasiewet belig die modale universaliteit van die fisiese aspek treffend, want geen enkele fisiese entiteit ontkom aan die universele draagkrag daarvan nie.²⁴ Gevolglik is daar ook geensins meer enige sprake van dat hemelliggame en dinge op aarde aan *verskillende* (fisiese) wette onderworpe sou wees nie – die reikwydte van swaartekrag kan daarom gesien word as universeel in 'n modaal-funksionele sin. Modale universaliteit dui bloot daarop dat die funksionele aard van die fisiese aspek impliseer dat 'n modale fisiese wet van toepassing is op alle moontlike fisiese entiteite. Na aanleiding van Helmholtz se formulering van die eerste hoofwet van die termodinamika – met name die wet van energie-konstansie – merk Steffens tereg op: “... Helmholtz the law of the conservation of force to include all known physical phenomena” (1979:137).²⁵

²⁴ 'n Anonieme beoordelaar wys tereg daarop dat Newton “sy hele *Principia Mathematica* in meetkundige taal en met meetkundige bewysvoering (Euklidies) formuleer, terwyl hy sy eie calculus glad nie gebruik nie. Hoewel sy konsepte dus reeds beweging en dinamika verreken, giet hy alles nog in geometriese taal”. Hieruit blyk tot watter mate Newton – soos teweens ook Descartes voor hom en Kant na hom – nog steeds beïnvloed is deur die magtige erfenis van 'n ruimte-metafisika.

²⁵ Uit die bespreking van Steffens in hierdie Hoofstuk 6 is dit duidelik dat die 19de eeu onder meer *krag* en *energie* nog as wissel terme gebruik het.

As kontemporêre (wysgerig-genuanseerde) fisikus wys Von Weizsäcker daarop dat die kwantum-teorie die sentrale teorie van die huidige fisika is – en die wyse waarop hy dit verduideelik belig pertinent die modaal-universele karakter van die fisiese aspek – 'n universaliteit wat geen entiteitsgrense ken nie omdat dit alle moontlike fisiese entiteite omspan: “Die kwantum-teorie, toereikend abstrak geformuleer, is 'n universele teorie vir alle groeperinge van dinge” (Von Weizsäcker, 1993:128).²⁶ Wat ook besonder merkwaardig is, is dat Von Weizsäcker iets besef van die onverbreeklike samehang waarin alles gevoeg is, want hy verklaar kategoriees: “Alles hängt mit allem zusammen” (Von Weizsäcker, 1993:134).

Veral met betrekking tot die vraag wat *materie* is bring hierdie stelling ons juis ook op die spoor van die samehang tussen die eerste vier verklaringswyses (bestaanswyses) van die werklikheid.

Vanaf die vroegste fase van die Griekse denk-ontwikkeling tref ons reeds pogings aan om te verstaan wat *materie* is. Skynbaar laat die misterie wat in hierdie vraagstelling opgesluit lê slegs gedeeltelike antwoorde vanuit (funksioneel-onderskeie) benaderingshoeke toe. Daarom behoort dit ons nie te verbaas nie dat Stegmüller oortuig is dat selfs vir die 20ste eeuse wetenskap die begrip *materie* inderdaad een van die moeilikste en mees misterieuse van alle begrippe is.²⁷ Let byvoorbeeld op die probleem van diskreetheid en kontinuïteit wat Hilbert na vore bring met verwysing na die ou slagspreuk dat die natuur nie *sprong* maak nie (“*natura non facit saltus*”).²⁸

Daarom moet ons bedag wees op die ooreenkoms en verskil tussen fisiese ruimte en matematiiese ruimte. Beide is uitgebreid (ooreenkoms), maar te midde van hierdie ooreenkoms geld dat slegs matematiiese ruimte oneindig verdeelbaar is (die verskil tussen beide tipes ruimte). Die bogemelde opvatting van Descartes, naamlik dat fisiese entiteite oneindig verdeelbaar is blyk dus inderdaad foutief te wees.²⁹

²⁶ “Die Quantentheorie, hinreichend abstrakt formuliert, ist eine universale Theorie für alle Gegenstandsklassen”.

²⁷ “Und daß *auf der anderen Seite* ausgerechnet der Materiebegriff der schwierigste, unbewältigste und rätselhafteste Begriff überhaupt für die Wissenschaft dieses Jahrhunderts blieb” (Stegmüller, 1987:90).

²⁸ Hy sê: “In addition to matter and electricity, there is one other entity in physics for which the law of conservation holds, viz., energy. But it has been established that even energy does not unconditionally admit of infinite divisibility. Planck has discovered *quanta of energy*. Hence, a homogeneous continuum which admits of the sort of divisibility needed to realize the infinitely small is nowhere to be found in reality” (Hilbert, 1925:164). Die medewerker van Hilbert, Paul Bernays het meer onlangs 'n soortgelyke siening na vore gebring: “Erst durch die zeitherige Entwicklung der Geometrie und der Physik tritt die Notwendigkeit hervor, zwischen dem Raum als etwas Physikalischem und dem Raum als eine ideellen, durch geometrische Gesetze bestimmten Mannigfaltigkeit zu unterscheiden” (Bernays, 1976:37). [“Slegs deur die kontemporêre ontwikkeling van die geometrie en die fisika het dit noodsaaklik geword om te onderskei tussen ruimte as iets fisies en ruimte as 'n ideële menigvuldigheid soos bepaal deur ruimte-wette”.]

²⁹ In 'n e-pos korrespondensie met die Nederlandse fisikus, M.D. Stafleu (27 Julie, 2005), het hy die volgende opmerking ten opsigte van energie gemaak: “as far as I know in concrete physically qualified ‘things’ (like molecules), energy cannot be infinitely divided, for *within* such a thing energy is always quantized.” Wanneer egter oorgegaan word tot 'n modaal-funksionele (wiskundige) *beskrywing* van energieprosesse (onder meer met gebruikmaking van 'n *kontinue veranderlike*) verskuif die klem na die wiskundige beskrywing waarin die

Uit die idee van die oneindige verdeelbaarheid van materie en die prysgawe daarvan in die 20ste eeuse fisika blyk dit duidelik dat elke gesigspunt wat gebruik kan word in die *benadering* van die aard van materie inderdaad tegelyk vergesel word deur *inherente beperkinge*. Indien byvoorbeeld na materiële dinge gekyk word vanuit die gesigshoek van die ruimte-aspek – en wel asof dergelike dinge gelykgestel sou kon word aan oorspronklike ruimte-figure – dan volg dit “logies” dat materie oneindig verdeelbaar moet wees. Maar die historiese ontwikkeling, waarin nuwe verklaringswyses na vore getree het, met name die kinematiese gesigspunt, het uiteindelik die[103] besef gevestig dat materiële dinge nie suiwer kinematies verklaar kan word nie met die gevolglike erkenning van die onmiskenbare fisiese stempel daarvan. Die basiese vraag is derhalwe nie “logies” van aard nie, maar “*onto-logies*”.

Dit gaan om die vraag na die werklikheid (realiteit) van *ontiese* bestaanwyses – en hierdie vraag benodig uiteindelik dat aangegee word watter aspek van die werklikheid materiële dinge *karakteriseer*, *stempel* of *kwalifiseer*. En ons het gesien dat die geskiedenis van die fisika (waarin die geskiedenis van die materie-begrip ingebed is) die antwoord op hierdie vraag verskaf het. Hoewel materiële dinge 'n funksie vertoon in die getalsaspek word dit nie deur hierdie aspek gestempel nie (kontra die Pythagoreërs en die Griekse atomiste, Leukippos en Demokritos). Insgelyks besit materiële dinge 'n ruimte-funksie sonder dat dit deur hierdie aspek gekarakteriseer kan word (kontra die skool van Parmenides, die eeu-oue erfenis van 'n spekulatiewe ruimte-metafisika en die posisie van Descartes en Kant). Dieselfde geld ook van die gegewe dat alle materiële dinge ook in die kinematiese aspek funksioneer – maar ook hier moet die meganistiese (bewegings)reduksie van die klassieke fisika afgewys word – fisiese verskynsels kan eenvoudig nie herlei word tot die beweging van al of nie gelade massa-punte nie.

Hierdie voorafgaande oorwegings verleen inderdaad gewig aan die wyse waarop Stegmüller die probleemvraag na die aard van materie aan die orde stel. Daarby moet in gedagte gehou word dat hy volkome vertrou is met die mees gevorderde tegnies-fisikale en wiskundige teorieë in hierdie verband.

Teen die agtergrond van 'n uitvoerige betoog merk Stegmüller op dat diegene wat hul besig hou met groot hemelliggame (soos die sterrekunde, astrofisika en kosmologie) nogtans steeds op kennis van die kleinste materie-deeltjies aangewese bly. Dikwels kan ons ook nie werklik sê of die wetenskaplike raaisel (of teoretiese dilemma) wat hier voorkom slegs opgevat moet word as 'n gelyktydige taakstelling vir die gemelde dissiplines (sterrekunde, astrofisika en kosmologie) en vir daardie dissiplines wat hulle met die materie besig hou nie. Die pleidooi teen die negatiewe opmerking van die kontemporêre *materie-eksperte* is in 'n sekere sin slegter daaraan toe as die erkenning waartoe Goethe se Faust geforseer was. Hierdie spesialiste beskik nie alleen geensins oor méér “wysheid as tevore” nie, veral nie as die kennis van dié era waarin hul navorsing 'n aanvang geneem het nie. Hulle het nie eers slimmer geword as daardie eerste denkers wat meer as 2000 jaar gelede op 'n suiwer spekulatiewe basis probeer het om materie te verstaan nie.³⁰

reële getalle 'n rol speel, en dan figureer die oneindige verdeelbaarheid van enige rasionale interval (bekend as die digtheid van die breuke).

³⁰ “Wir haben in den früheren Abschnitten mehrmals festgestellt, wie sehr gerade auch diejenigen Wissenschaften, welche sich mit den größten körperlichen Gebilden überhaupt

Wanneer Stegmüller voortgaan om die problematiek verbonde aan die verstaan van die aard van materie verder te verduidelik ontvang al vier bogemelde werklikheidsaspekte as wyses van verklaring opeens 'n nuwe aktualiteit. Hy onderskei in die eerste plek tussen twee globale grondkonsepsies rakende die aard van materie en wys daarop dat hierdie konsepsies tans weer, soos voorheen, 'n prominente plek in die diskussies inneem. Hierdie twee grondkonsepsies kan aangedui word as die *atomistiese* en die *kontinuiteitsopvatting* van materie.³¹

[104]

Opeens staan die vraag na die oneindige verdeelbaarheid van materie weer in die sentrum van die belangstelling en saam daarmee die bogemelde verskil tussen *fisiese ruimte* en *matematiese ruimte*. Onderliggend aan die teenstelling tussen *atomisme* en *kontinuiteit* vind ons die eerste twee bogemelde verklaringswyses, te wete *getal* (atomisme) en *ruimte* (kontinuiteit).³² Merkwaardig genoeg gaan Stegmüller voort deur daarop te wys dat hierdie twee opponerende teorieë (die *atomisme* en die *kontinuiteitsopvatting*) ontwerp is om die volgende twee probleme tot 'n oplossing te bring:

- (i) die skynbare *onverganklikheid* van materie; en
- (ii) die skynbare of werklike grenslose *transformeerbaarheid* van materie.³³

Wanneer hierdie twee probleme in samehang beskou word is dit onmiddellik duidelik dat dit op die derde en vierde bovermelde verklaringswyses berus, met name op die sin van *kinematiese duursaamheid* (“onverganklikheid”) en *fisiese veranderlikheid* (“transformeerbaarheid”).

Op hierdie punt konvergeer die hoofmomente van ons voorafgaande gedagtegang opnuut in die kondisionerende rol van die vier aspekte (bestaanswyses en verklaringswyses) van fisiese dinge (“materie”). Die “dinglike” aard van fisiese

beschäftigen: die Astronomie, die Astrophysik und die Kosmologie, auf das ‘Wissen vom Kleinsten’ angewiesen bleiben, ja daß wir heute sogar oft nicht einmal sagen können, ob ein hier auftretendes wissenschaftliches Rätsel oder theoretisches Dilemma als bloße Herausforderung der ‘Wissenschaften vom Größten’ allein aufzufassen ist oder als eine simultane Herausforderung sowohl dieser Wissenschaften *als auch* der Wissenschaften von der Materie. Es ließe sich die boshafte Behauptung verfechten, daß die heutigen ‘Materie-Experten’ in einem gewissen Sinn zu einem schlimmeren Eingeständnis gezwungen sind als Goethes Faust. Sie sind nicht nur ‘nicht klüger als zuvor’, nämlich als zu der Zeit, da sie zu forschen anfangen, sondern sie sind nicht einmal klüger geworden als jene ersten Denker, welche vor über 2000 Jahren die Materie rein spekulativ zu ergründen versuchten” (Stegmüller, 1987:91).

³¹ “Selbst die beiden großen Grundkonzepte über die Natur der Materie stehen heute nach wie vor zur Diskussion, wenn auch mannigfaltig verschleiert hinter Bergen von Formeln. Diese beiden Grundkonzepte kann man als die *atomistische Auffassung* und als die *Kontinuumsauffassung* der Materie bezeichnen” (Stegmüller, 1987:91).

³² Laugwitz vermeld dat D'Alembert 'n aanhanger was van die algemeen-aanvaarde 18de eeuse interpretasie van Leibniz se siening waarvolgens slegs 'kontinue' funksies voorkom in die oplossing van fisikale probleme (Laugwitz, 1997:293 – hy haal Truesdell aan).

³³ “Beide Theorien waren darum bemüht, vor allem zwei Probleme zu lösen: das der – scheinbaren oder wirklichen? – *Unvergänglichkeit der Materie* und das der – scheinbaren oder wirklichen? – *unbegrenzten Verwandlungsfähigkeit der Materie*” (Stegmüller, 1987:91). Hierdie formulering ontgin die *kinematiese verklaringswyse* (konstante/uniforme beweging) en die *fisiese verklaringswyse* (verandering).

(materiële) entiteite oorskry ten ene male die unieke en begrensde menigvuldigheid gesigshoeke van waaruit (teoreties) daarna gekyk kan word – dergelike dinge funksioneer teweens *tegelyk* in elkeen van hierdie aspekte. Tog impliseer die konkreet-alsydige bestaan daarvan dat dit nooit *opgaan* in enigeen daarvan nie. Juis hierin lê die *misterie* van materiële dinge opgesluit.

Natuurlik funksioneer fisies gestempelde entiteite en prosesse (gekwalfiseer deur energie-werking) ook in verdere (na-fisiese) werklikheidsaspekte, soos in die biotiese aspek (bv. water as “lewensmiddel”), in die gevoelsaspek (dit kan sintuiglik waargeneem word), in die logies-analitiese aspek (dergelike entiteite kan geïdentifiseer en onderskei word), in die teken-aspek (dit kan benoem word), e.s.m. Maar net so min as wat enige (fisies-gestempelde) entiteit ooit volledig opgaan in enigeen van die eerste vier werklikheidsaspekte (getal, ruimte, beweging of die fisiese) gaan dit *volledig op* in enigeen van die na-fisiese aspekte.

Dit was veral die (neo-)positivistiese tradisie wat (op die voetspoor van Kant) fisiese dinge opgelos het in en herlei het tot sintuiglike indrukke (“sense data” / “sense impressions”). Die Achillesiel van hierdie erfenis is dat dit ongelukkig nie rekenskap kon gee van die status van die *teoretiese terme* met behulp waarvan sintuiglik-waargenome dinge *beskryf* is nie. Die verskillende aspekte van “waaruit” dergelike beskrywingsterme geput word is teweens nie self sintuiglik-waarneembaar nie. Wie sou kon sê wat die *kleur* van die getalsaspek is, wat die *massa* van die ruimte-aspek is of wat die *smaak* van die kinematiese aspek is?!

7. Slotopmerking

Die argumentasielyn van hierdie artikel was daarop gerig om telkens slegs die belangrikste hoofmomente van die voortgaande verdieping van die Westerse natuurverstaan aan die orde te stel. Die historiese ontvouing wat aan die orde gestel is het gevolglik die klem laat val op die ontstaansgeskiedenis wat telkens verbonde was aan die navore tree van 'n nuwe, bykomende verklaringswyse. Daardeur is tegelyk aangetoon hoedanig ons verstaan verdiep en uitgebrei is deurdat daar naas die oorspronklike klem op getalsverhoudinge (*alles is getal*), vervolgens ook besef is dat die ruimte-aspek, die kinematiese aspek en die fisiese aspek elk 'n unieke en onherleibare bydrae lewer tot 'n meer genuanseerde verstaan van die aspek-ryke aard van stoflike dinge en prosesse. In die slotparagraaf is daarop gewys dat die aard van materie (fisiese entiteite) aanleiding gegee het tot opponerende grondkonsepsies wat eweseer put uit die toegangspoort van bepaalde werklikheidsaspekte (atomisme – getalsaspek; kontinuïteitsopvatting – ruimte-aspek) en wat tegelyk implisiet gemoeid is met die probleemverhouding tussen duursaamheid en verandering, wat op sy beurt appelleer op die kinematiese aspek (konstansie) en die fisiese aspek (verandering).

Die vermeende ideaal van 'n enkele teorie wat alles moet verklaar³⁴ kom hiermee in die gedrang, want solank as wat besef word dat daar 'n veelheid unieke

³⁴

Met verwysing na Einstein se soeke van dertig jaar na 'n verenigde veld-teorie glo Brian Greene, 'n spesialis in “super string” teorie, dat fisici 'n raamwerk sal vind wat hul insigte saamvoeg in 'n “naatlose geheel” (a “seamless whole”), 'n “single theory that, in principle, is capable of describing all phenomena” (Greene, 2003:viii). Hy bied “Super String theory” as die “Unified Theory of Everything” aan (Greene, 2003:15; vgl. ook pp.364-370, 385-386). Let

werklikheidsaspekte bestaan wat elk *in eie reg* as 'n (uiteraard beperkte) teoretiese verklaringsbeginsel kan dien, is dit onmoontlik om enigeen daarvan te verhef tot die vermeende eksklusiewe en allesomvattende verklaringsperspektief.

[105]

8. Bibliografie

- Alexandroff, P.S. 1956. *Einführung in die Mengenlehre und die Theorie der reellen Funktionen*. Berlin: Deutscher Verlag der Wissenschaften.
- Apolin, A. 1964: Die geschichte des Ersten und Zweiten Hauptsatzes der Wärmetheorie und ihre Bedeutung für die Biologie, in: *Philosophia Naturalis*, Volume 4.
- Becker, O. 1964. *Grundlagen der Mathematik in geschichtlicher Entwicklung*. München.
- Becker, O. (1965): Preface, in: *Zur Geschichte der griechischen Mathematik*, Wege der Forschung. Band 43, Darmstadt 1965.
- Brouwer, L.E.J. 1911. Beweis der Invarianz der Dimensionenzahl. *Mathematische Annalen*, LXX (pp.161-165).
- Brouwer, L.E.J. 1924. Bemerkungen zum natürlichen Dimensionsbegriff. In: Brouwer, 1976, (2)554-557.
- Brouwer, L.E.J. 1976. *Collected Works*. Edited by Hans Freudenthal. Amsterdam: North-Holland.
- Descartes, R. 1965. *A Discourse on Method, Meditations and Principles*. Vertaal deur John Veitch, Inleiding deur A.D. Lindsay. London: Everyman's Library.
- Descartes, R. 1965a. The Principles of Philosophy. In: Descartes 1965.
- De Saussure, F. 1966. *Course in general Linguistics*. Edited by Charles Bally and Albert Sechehaye, London: McGraw-Hill.
- Einstein, A. 1959. Autobiographical Notes. In: Albert Einstein, *Philosopher-Scientist*. Edited by P.A. Schilpp. New York: Harper Torchbooks.
- Einstein, A. 1982. *Grundzüge der Relativitätstheorie*. Reprint of the 1969 Braunschweig edition (original edition 1922). Wiesbaden: Friedrich Fieweg & Sohn.
- Einstein, A. 1985. *Relativity, the Special and General Theory*. Bristol: Arrowsmith (reprint of the first 1920 translation).
- Fraenkel, A., Bar-Hillel, Y., Levy, A. & Van Dalen, D. 1973. *Foundations of Set Theory*, 2de hersiene uitgawe. Amsterdam: North Holland.
- Fränkel, H. 1968. *Wege und Formen frügriechischen Denkens*. Herausgeber F. Tietze. (3de hersiene uitgawe). München: Beck.
- Frege, G. 1884. *Grundlagen der Arithmetik*. Breslau: Verlag M & H. Marcus ("Unveränderter Neudruck" – ongewysigde herdruk, 1934).
- Frege, G. 1983. *Nachgelassene Schriften* (ed. Hermes, H., Kambartel, F., Kaulbach, F.), 2de uitgebreide uitgawe. Hamburg: Felix Meiner Verlag.
- Galileo, G. 1957. *Discoveries and opinions of Galileo*. Vertaal met 'n Inleiding deur S. Drake. Garden City, N. Y.: Doubleday.

egter daarop dat alhoewel hy 'n *suiwer fisiese teorie* in gedagte het, sy doelstelling geformuleer is met gebruikmaking van die oorspronklike sin van die ruimte-aspek waar die relasie van 'n geheel en sy dele aangetref word (a "seamless whole")! Verskeie fasette van die problematiek wat in hierdie artikel aangespreek is word meer uitvoerig bespreek in Strauss, 2005.

- Galilei, G. (1638/1973). *Unterredung und mathematische Demonstration über zwei neue Wissenszweige, die Mechanik und die Fallgesetze betreffend*. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.
- Greene, B. 2003. *The Elegant Universe*. New York: W.W. Norton & Company.
- Guthrie, W.K.C. 1980. *A History of Greek Philosophy*. Volume II. The Presocratic Tradition from Parmenides to Democritus. Cambridge: Cambridge University Press.
- Hucklenbroich, P. 1980. Der physikalische Begriff der Materie. In: Ritter, *Historisches Wörterbuch der Philosophie*. Volume 5, Stuttgart: Schwabe & Co Verlag (pp.921-924).
- Hurewicz, W. and Wallman, H. 1959: *Dimension Theory*, 5de uitgawe. Princeton: University Press.
- Janich, P. 1975. Tragheitsgesetz und Inertialsystem. In: *Frege und die moderne Grundlagenforschung*. Redakteur Christian Thiel. Meisenheim am Glan: Hain.
- Kant, I. 1781. *Kritik der reinen Vernunft*, Eerste Uitgawe (verwysings na 1781-A) 1787 (Tweede Uitgawe saam met Eerste gedruk) (verwysings na 1787-B). Hamburg: Felix Meiner edition (1956). [106]
- Kant, I. 1783. *Prolegomena zu einer jeden künftigen Metaphysik die als Wissenschaft wird auftreten können*. Hamburg: Felix Meiner uitgawe (1969).
- Kant, I. 1786. *Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft*. Heruitgege deur Wilhelm Weischdel. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.
- Katscher, F. 1970. Heinrich Hertz. In: *Die Grossen der Weltgeschichte*, Volume IX, *Röntgen bis Churchill*. München: R. Oldenburg.
- Kawalec, P. 2006. Atomism, <http://72.14.207.104/search?q=cache:oj3RfXVz2ysJ:www.kul.lublin.pl/efk/angielski/hasla/a/atomism.html+Energeticism&hl=en&ct=clnk&cd=9> (besoek op 04-04-2006).
- Lakoff, G. & Johnson, M. 1999. *Philosophy in the Flesh. The Embodied Mind and Its Challenge to Western Thought*. New York: Basic Books.
- Lakoff, G. & Núñez, R.E. 2000. *Where Mathematics Comes From, How the Embodied Mind Brings Mathematics into Being*. New York: Basic Books.
- Laugwitz D. 1997. Mathematische Modelle zum Kontinuum und zur Kontinuität. *Philosophia Naturalis*. 34:265-313.
- Lorenzen, P. 1960. *Die Entstehung der exakten Wissenschaften*. Berlyn: Springer-Verlag.
- Lorenzen, P. 1976. Zur Definition der vier fundamentalen Meßgrößen. In: *Philosophia Naturalis*, Volume 16:1-9.
- Maier, A. 1949. *Die Vorläufer Galileis im 14. Jahrhundert*, Roma: Edizioni di Storia e letteratura.
- Planck, M. 1910. Die Stellung der neueren Physik zur mechanischen Naturanschauung (1910). In: Max Planck, 1973.
- Planck, M. 1973. *Vorträge und Erinnerungen*, 9de herdruk van die 5de druk. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.
- Russell, B. 1897. *An essay on the foundations of geometry*. Cambridge: University Press.
- Russell, B. 1956. *The Principles of Mathematics*. London: George Allen & Unwin Ltd. (Eerste uitgawe in 1903, Tweede uitgawe in 1937, Sewende druk 1956).
- Stegmüller, W. 1969. *Metaphysik, Skepsis, Wissenschaft*, (first impression 1954). Berlyn / New York.

- Stafleu, M.D. 1987. *Theories at Work: On the Structure and Functioning of Theories in Science, in Particular during the Copernican Revolution*. Lanham: University Press of America.
- Stegmüller, W. 1969a. *Main Currents in Contemporary German, British and American Philosophy*. Dordrecht: D. Reidel Publishing Company, Holland.
- Stegmüller W. 1987. *Hauptströmungen der Gegenwartsphilosophie*, Volume III, Stuttgart: Alfred Kröner Verlag.
- Strauss, D.F.M. 2005. *Paradigmen in Mathematik, Physik und Biologie und ihre philosophische Wurzeln* (Duitse vertaling: Marftin Jandl), Frankfurt am Main: Peter Lang.
- Steffens, H.J. 1979. *James Prescott Joule and the concept of energy*. Folkstone, Eng.: Dawson ; New York: Science History Publications.
- Van Melsen, A.G.M. 1975. Atomism. In: *Encyclopedia Britannica*, 15de Uitgawe, London, Volume 2:346-351.
- Von Weiszäcker, C.F. 1972. *Voraussetzungen des naturwissenschaftlichen Denkens*. Herderbücherei, Band 415. München: Carl Hanser Verlag.
- Von Weiszäcker, C.F. 1993. *Der Mensch in seiner Geschichte*. München: DTV.
- Von Weiszäcker, C.F. 2002. *Große Physiker, Von Aristoteles bis Werner Heisenberg*. München: Deutscher Taschenbuch Verlag.

[Voetnotas is in publikasie op bladsye 107-110 geplaas.]