

# RES EXTENSA

## Descartes' radicale mathematisering van de fysica

Victor Gijbers

23 januari 2003

### 1 Introductie

#### 1.1 De mathematisering van het wereldbeeld

De wetenschappelijke revolutie wordt vaak gezien als het begin van de moderne wetenschap. Waar de middeleeuwse natuurwetenschap volstrekt anders was dan de onze, begonnen zich aan het eind van de zestiende en met name in de zeventiende eeuw de eerste tekenen van een moderne fysica te manifesteren. Het zou onjuist zijn te suggereren dat het einde van de wetenschappelijke revolutie het begin van de moderne wetenschap was - de fysica ten tijde van Newton verschilde op een aantal punten zeer sterk van de onze. Toch hadden zich in de zeventiende eeuw enige vergaande ontwikkelingen voltrokken. De opkomst van een experimentele methode en de mechanisering en mathematisering van het wereldbeeld zijn daar belangrijke voorbeelden van.

Onze fysica is uiterst wiskundig, tot op het punt dat wetenschapsfilosofen stellen dat een fysische theorie bestaat uit een mathematisch formalisme en een interpretatie daarvan. Het idee dat wiskunde nuttig is voor de natuurwetenschapper ligt echter niet voor de hand, en voor Aristoteles was het zelfs absurd. Wiskunde ging immers over objecten die geen zelfstandig bestaan hadden, maar wel onveranderlijk waren. Fysica ging juist over objecten die een zelfstandig bestaan hadden, maar veranderlijk waren. Het onderwerp van deze twee disciplines was volstrekt verschillend, en het idee van een mathematische fysica werd dan ook tot ver in de zestiende eeuw door bijna iedereen absurd bevonden.

In de late zestiende en de zeventiende eeuw voltrekt zich een verandering in deze opvatting. Dit kan duidelijk geïllustreerd worden door de veranderende status van de wiskundige theorie. Een vakgebied als de astronomie, waar nauwkeurige kwantitatieve voorspellingen altijd belangrijk waren geweest, was al duizenden jaren lang gemathematiseerd. De mathematische theorie werd echter alleen gezien als een instrument. Copernicus was één van de eersten die een realistische interpretatie aanhing. In zijn wiskundig formalisme stond de zon in het midden van het planetenstelsel, en hij was er niet tevreden mee dit puur als een handigheidje te zien. Volgens hem stond de zon dus ook daadwerkelijk in het midden - dat werd bewezen door de wiskunde. Hier was de status van de wiskunde radicaal veranderd. Van een hulpmiddel om berekeningen uit te voeren werd het een beschrijving van de werkelijkheid. We zullen later in dit artikel zien dat Descartes deze revolutie nog verder doorvoerde en stelde dat de werkelijkheid mathematisch van aard is.

Deze trend naar steeds verdere mathematisering werd mede gestimuleerd door de hoger wordende status van mathematici<sup>1</sup>. Wiskundigen als Galileo wisten zichzelf te laten erkennen als filosofen, en mathematica werd steeds relevanter door praktische toepassingen als vestingbouw, aanleg van kanalen en berekeningen aan artillerie. Met name Galileo gelukte het belangrijke resultaten te boeken met zijn mathematische aanpak van de natuurwetenschap, wat natuurlijk een stimulans voor anderen was om dit nieuwe gebied serieus te nemen.

Ook in het onderwijs van met name de Jezuïeten kreeg wiskunde nu een prominente plaats toebedeeld – het werd tegelijk met de fysica of de metafysica behandeld aan het eind van de opleiding. Dit heeft zeker een stimulans gevormd voor mensen als Mersenne en Descartes, die deze vorm van onderwijs genoten.

## 1.2 De mechanisering van het wereldbeeld

Niet alleen was het wereldbeeld van voor de Wetenschappelijke Revolutie niet mathematisch, het was ook niet mechanisch. In de middeleeuwen en de Renaissance werd de wereld beheerst door God, engelen, duivels, geesten, occulte krachten of mystieke principes. De natuurwetenschap van de Renaissance had er geen enkele moeite mee te praten over de ‘ziel’ van een magneet, die door ‘sympathie’ en ‘antipathie’ andere magneten beïnvloedde. Deze bezielde en occulte verklaringen werden in de Wetenschappelijke Revolutie vervangen door mechanistische beschrijvingen, een proces dat mechanisering genoemd wordt.

Hoewel de mechanistische filosofie het bestaan van de ziel of God slechts zelden verwierp, werden deze concepten niet langer toegelaten tot fysische verklaringen. Doelmatigheid, intelligentie en emotie werden uit de natuur geweerd. Het bekendste mechanistische systeem is dat van Descartes, bij wie het enige verklarende principe in de natuurkunde het botsen van deeltjes is.

## 1.3 Descartes

Descartes, die leefde van 1596 tot 1650, is een belangrijke figuur binnen beide ontwikkelingen die hierboven beschreven zijn. Hij zette een zeer invloedrijk filosofisch systeem op dat overeen kwam met een zeer mathematisch en mechanisch wereldbeeld. Descartes heeft ongetwijfeld een zeer sterke invloed gehad op de acceptatie van dit wereldbeeld door het te funderen met een metafysica en een epistemologie. Daarnaast propageerde hij een zeer mathematische fysica. Dit maakt hem tot een heel interessant figuur binnen de wetenschapsgeschiedenis, want op het eerste gezicht lijkt Descartes de stamvader van de mechanistische, mathematische natuurwetenschap. In werkelijkheid is de invloed die hij op het ontstaan hiervan heeft uitgeoefend echter veel indirecter. Zijn project voor een mathematische fysica was door methodologische problemen tot mislukken gedoemd. In dit artikel zal ik een beeld schetsen van dit project en aantonen hoe juist de verregaande mathematisering van de natuurkunde, met als hoogtepunt het karakteriseren van materie als *res extensa*, er voor zorgde dat de Cartesiaanse fysica geen bloeiend onderzoeksgebied kon worden.

---

<sup>1</sup>Voor een uitgebreidere behandeling van dit fenomeen kan John Henry's *The Scientific Method*, in *The Scientific Revolution and the Origins of Modern Science*, Macmillan, 1997, geraadpleegd worden

## 2 Wereld en wiskunde

### 2.1 Descartes' *Mathesis Universalis*

Reeds in zijn vroegste werk spreekt Descartes over de eenheid van de mathematica.<sup>2</sup> In het in 1628 voltooide, maar pas na zijn dood gepubliceerde, 'Rules for the Direction of the Mind', lezen wij in de vierde 'Rule' dat mensen een methode nodig hebben om tot waarheid te komen. Wie zonder een duidelijke methode probeert de werkelijkheid te doorgronden zal onherroepelijk vele onwaarheden als waar beschouwen, en nooit tot echt zekere kennis komen. Descartes neemt de taak op zich een verzameling regels te ontwerpen die de mens in staat zal stellen doelmatig en efficiënt zekere waarheden af te leiden. Deze methode zou er toe moeten leiden dat men nooit iets onwaars als waar beschouwt, en dat men uiteindelijk alles zal kennen wat er te kennen valt.

Er zijn slechts twee wetenschappen die deze regels reeds consequent, zij het impliciet, toepassen. Dit zijn de Geometrie en de Aritmetica. Deze vakgebieden zijn het resultaat van de ingeboren kennis van de methode, en het is nu noodzakelijk deze regels helder te krijgen zodat ze ook kunnen worden toegepast in de andere wetenschappen, opdat ook deze ons tot zekerheid kunnen leiden. Op dit punt van zijn betoog geeft Descartes zijn lezers een waarschuwing die ons veel leert over zijn visie op wiskunde en wetenschap:

[T]hough much mention is here made of numbers and figures, because no other sciences furnish us with illustrations of such self-evidence and certainty, the reader who follows my drift with sufficient attention will easily see that nothing is less in my mind than ordinary Mathematics, and that I am expounding quite another science, of which these illustrations are rather the outer husk than the constituents.<sup>3</sup>

Geometrie en aritmetica, waar Descartes ook algebra onder laat vallen, zijn slechts een mantel voor een nieuwe wetenschap. Deze laatste wordt geïdentificeerd met de methode waar eerder sprake van was, en zal dus niet alleen zekere kennis moeten geven, maar ook tot alle mogelijke kennis moeten leiden. Wij zien hier dat op een fundamenteel niveau de eenheid van alle wetenschappen en de wiskunde wordt geaffirmeerd. De wiskunde wordt de mantel – en daarmee de *taal* – van een nieuwe alomvattende wetenschap. Wat wij ons bij deze wetenschap moeten voorstellen maakt Descartes duidelijk in de rest van de vierde 'Rule'.

Hij vertelt eerst over zijn onvrede over de wijze waarop heden ten dage de wiskunde wordt bedreven. De bekende stellingen over getallen en figuren blijken, wanneer wij ze beschouwen, waar te zijn – maar het wordt onvoldoende duidelijk waarom ze waar zijn en hoe wij deze waarheden zelf kunnen ontdekken. Zelfs in de mathematica ontbreekt een heldere methode om tot kennis te komen.

<sup>2</sup>Meer informatie over de historische ontwikkeling van het idee van de *Mathesis Universalis* bij Descartes kunt u vinden in het artikel *Descartes' Mathesis Universalis: 1619-28*, van John A. Schuster, in *Descartes – Philosophy, Mathematics & Physics*, Stephen Gaukroger (ed), The Harvester Press, 1980

<sup>3</sup>Descartes, *Rules for Direction of the Mind*, pagina 10-11, uit *The Philosophical Works of Descartes*, vertaald door E. S. Haldane en G. R. T. Ross, deel 1, Cambridge University Press, 1973

Descartes vraagt zich af of het wellicht niet mogelijk is om een volkomen duidelijke Mathematica te destilleren uit de verwarrende en onvolkomen wetenschappen die er nu zijn.

But as I considered the matter carefully it gradually came to light that all those matters only were referred to Mathematics in which order and measurement are investigated, and that it makes no difference whether it be in numbers, figures, stars, sounds or any other object that the question of measurement arises. I saw consequently that there must be some general science to explain that element as a whole which gives rise to problems about order and measurement, restricted as these are to no special subject matter. [...] We can see how much it excels in utility and simplicity the sciences subordinate to it, by the fact that it can deal with all the objects of which they have cognizance and many more besides.<sup>4</sup>

Het enige wat volgens Descartes de gemeenschappelijke grond van alle wiskundige disciplines vormt – waartoe hij ook de astronomie, de optica, de muziekleer en de mechanica rekent – is dat zij allen zijn terug te voeren tot problemen over vorm en grootte. De Mathesis Universalis, de nieuwe wetenschap, moet dan ook slechts uitsluitend over vorm en grootte gaan. Hiermee wordt niet slechts de wiskunde, maar ook de voor Descartes hiermee innig verbonden fysica gezien als iets dat slechts in deze termen beschreven mag worden. Het is dan ook slechts een kleine stap vanuit het project van de universele wiskunde naar de Cartesiaanse visie op materie.

## 2.2 Res extensa

Een bekend onderdeel van Descartes' filosofie is zijn dualisme. Er zijn twee substanties, die volledig van elkaar verschillen. Aan de ene kant de *res cogitans*, de denkende substantie; aan de andere kant de *res extensa*, de materie. De ziel staat hier tegenover het lichaam en de fysieke wereld als iets dat essentieel anders is. Met de redenen voor en de problemen van dit dualisme zullen wij ons in dit essay niet bezig houden – wat ons interesseert is de vraag hoe Descartes de fysieke wereld ziet. Zijn antwoord op de vraag 'Wat is materie?' zal van zeer groot belang blijken voor zijn fysische methodologie.

Zeer duidelijk zet Descartes zijn denkbeelden uiteen in 'The Principles of Philosophy', waar wij in deel 2, principe 4, lezen dat de essentie van materie niet gelegen is in attributen als hardheid, gewicht of kleur, noch in enige andere dan slechts dat de materie een substantie is die uitgebreid is in lengte, breedte en diepte. Immers, de enige manier waarop wij iets van de hardheid van objecten weten is doordat wanneer wij onze hand naar een object bewegen, dit deze beweging tegen houdt. Maar het is voorstelbaar dat alle objecten altijd van ons weg zouden bewegen wanneer wij onze hand er naar toe bewegen; en in dat geval zouden wij nooit iets over hardheid te weten kunnen komen. Toch zouden deze objecten nog steeds materie zijn. De essentie van materie kan dus niet in hardheid liggen, aldus Descartes. Evenzo is materie zonder kleur, zonder smaak, zonder geur en zonder gewicht volstrekt voorstelbaar. Het enige attribuut van een materieel object dat wij nooit weg kunnen denken is *uitgebreidheid*. Wij

<sup>4</sup>Ibid., pagina 13.

zijn niet in staat ons een voorstelling te maken van een fysisch object zonder uitgebreidheid. Uitgebreidheid, extensie, is daarom de essentie van materie – het enige wat er wezenlijk aan is. Dit brengt Descartes er toe materie aan te duiden als *res extensa*: het uitgebreide.

Wij zien nu een wereldbeeld voor ons opdoemen waarin de fysische werkelijkheid slechts bestaat uit stukjes materie van verschillende vormen en groottes, die door de ruimte bewegen. Alle andere aspecten van de fysische wereld zijn geen attributen van materie, en worden slechts veroorzaakt door de vorm en grootte – de uitgebreidheid – van de materiedeeltjes. Kleur, om een voorbeeld te noemen, wordt volgens Descartes veroorzaakt door de draaiing van deeltjes. Afhankelijk van de snelheid waarmee lichtdeeltjes om hun as draaien zien wij ze als blauw, rood, of welke andere kleur dan ook. Zo beschrijft Descartes ook alle andere zintuigelijke waarnemingen in termen van bewegende deeltjes.

Dit beeld van de fysische werkelijkheid wordt in de *Principles* afgeleid uit een beschouwing van de essentie van materie, maar het lijkt niet vergezocht om te stellen dat de oorspronkelijke conceptie ervan in nauw verband moet hebben gestaan met dat van de *Mathesis Universalis*. Hierin werden vorm en grootte als fundamentele begrippen van niet alleen de wiskunde, maar ook de optica en de mechanica beschouwd. Zekere kennis kon alleen verkregen worden door vanuit deze volstrekt heldere begrippen te redeneren – een fysica die de naam ‘wetenschap’ werkelijk verdiende kon zich dus ook slechts van deze begrippen bedienen. Descartes – een uitgesproken criticus van zowel de mystieke, neo-Platoonse wereldvisie als de skeptische stroming die de mogelijkheid van zekere kennis in twijfel trok – lag een absoluut zeker fundament van de wetenschappen nauw aan het hart. Het was voor hem dus absoluut noodzakelijk slechts de termen van de universele wiskunde toe te laten tot zijn fysica – oftewel, om materie slechts te kenschetsen als *res extensa*.

Dit heeft enkele directe en vergaande consequenties voor de verklaringen die Descartes in zijn natuurwetenschap kan toelaten. Aan materie kan niets anders dan uitgebreidheid worden toegeschreven, dus attributen als ‘massa’ en ‘elektrische lading’, die in de latere natuurkunde een zeer belangrijke rol zouden spelen, zijn uit den boze. De enige fysische interactie die Descartes erkent is die van de botsing – wanneer twee materiedeeltjes met elkaar botsen vindt er een verandering in hun snelheid plaats. Op geen enkele andere wijze kan er beïnvloeding plaatsvinden. Krachten die werken op afstand, zoals Newton’s zwaartekracht, zijn binnen de Cartesiaanse filosofie absurd. Dat dit de mogelijkheden van zijn fysica behoorlijk inperkt zal duidelijk zijn. We zullen later zien dat de radicale mathematisering die Descartes heeft doorgevoerd een meer praktische mathematisering in de weg staat.

### 2.3 Epistemologische onderbouwing

De belangrijke positie die Descartes inneemt in de mathematisering en mechanisering van het wereldbeeld heeft er hoogstwaarschijnlijk mee te maken dat hij als eerste een metafysische en epistemologische onderbouwing probeerde te geven van deze natuurfilosofie. Galileo sprak zich even helder uit over het belang van wiskunde bij het bestuderen van de natuur, en wist veel meer dan Descartes door middel van fysische successen de vruchtbaarheid van deze methode aan te tonen. Toch ontstond er nooit een stroming van Galileïsche fysici, terwijl er wel veel wetenschappers waren die zich expliciet beriepen op de Cartesische

filosofie. Het feit dat Descartes, in tegenstelling tot Galileo, hen een zeer uitgebreide metafysische en epistemologische onderbouwing van het mathematische en mechanistische wereldbeeld gaf, is hier waarschijnlijk debet aan.

Voor een goed begrip van de verwevenheid van mathematica en de fysica bij Descartes is het nuttig een aantal punten uit zijn epistemologie nader toe te lichten. Speciale aandacht verdient de theorie van afstandsperceptie die Descartes naar voren bracht in zijn *Dioptrics*. Wij kunnen de afstand tot een object dat wij zien inschatten doordat ons linker en ons rechter oog het object net onder een iets andere hoek waarnemen. Dit ziet Descartes in, en hij stelt dat wij uit deze hoeken door een geometrische redenatie de afstand bepalen. Wij zijn hier zeer ge-oefend in, zodat deze berekening zo snel gaat dat wij haar niet meer opmerken. Maar afgezien van de snelheid is het proces dat plaats vindt volkomen identiek aan een wiskundige berekening. We zien hier dat bij Descartes de logische wiskundige redenatie – die hij als enige methodologische middel wil toelaten in zijn natuurwetenschap – al een fundament van onze *waarneming* vormt. Niet alleen de wereld, maar zelfs onze waarneming van de wereld wordt door Descartes gemathematiseerd.

Wellicht nog veelzeggender is de Cartesiaanse beschrijving van de werking van de hersenen. In de twaalfde ‘Rule’ van de ‘Rules for Direction of the Mind’ wordt een beeld geschetst van het verstand als bestaande uit twee delen: het niet-materiële deel, de ziel, en het materiële deel, de hersenen. Alle waarnemingen creëren slechts patronen in de materie van de hersenen. Van verbeelding is sprake als de hersenen zelf patronen scheppen. Herinnering bestaat eruit dat bepaalde patronen in de materie van de hersenen worden vastgelegd. Zo wordt de gehele werking van de hersenen terug gebracht tot de creatie en annihilatie van materiële patronen – met andere woorden, van vormen, van juist die dingen die beschreven worden door de universele mathematica. Sterker nog, later in de ‘Rules’ zal duidelijk worden dat het uitvoeren van mathematische bewijzen er precies hierin bestaat dat de hierbij gebruikte manipulaties van vormen worden uitgevoerd met exact deze vormen in de hersenen. (Hoe de ziel met deze patronen wisselwerkt zal ik verder buiten beschouwing gelaten.) Via epistemologische beschouwingen heeft Descartes een *identiteit* afgeleid tussen wiskundige redenaties en veranderingen in fysische vormen. Een sterkere koppeling van mathematica en fysica lijkt nauwelijks mogelijk.

### 3 Cartesiaanse fysica

#### 3.1 Physico-mathematica

De Cartesiaanse theorie is duidelijk. Wiskunde en natuurkunde zijn sterk vervlochten; de wereld is mathematisch van aard. Het ligt voor de hand dat Descartes deze visie als leidraad neemt voor zijn natuurwetenschappelijk onderzoek en met een mathematische fysica op de proppen komt. Dit is dan ook exact wat de jonge Descartes probeert nadat hij in 1618 de Nederlander Isaac Beeckman ontmoet. Zij vinden elkaar in hun grenzeloze enthousiasme voor een mathematische, corpusculaire natuurkunde, die zij ‘physico-mathematica’ noemen. Samen werken zij aan onder meer het probleem van de vrije val en aan hydrostatica.

Dit werd helaas geen onverdeeld succes. Descartes’ poging één van de hy-

drostatische resultaten van de wetenschapper Simon Stevin te verklaren binnen het kader van de ‘mechanistische filosofie’ bracht de zwakten van de physico-mathematica bijvoorbeeld aan het licht. Stevins bevinding dat de druk die een vloeistof uitoefent op de bodem van een container onafhankelijk is van het gewicht van de vloeistof was een heldere wiskundige natuurwet. Descartes’ fysische verklaring van dit fenomeen was echter een incoherent geheel van *ad hoc* aannames omtrent de deeltjes die een rol speelden en de manieren waarop zij zich zouden moeten gedragen. Waar de wiskunde en de natuurkunde één hadden moeten zijn, waren zij dat volstrekt niet – de mechanische verklaring werd naar willekeur verzonnen om met de wiskunde in overeenstemming te zijn.

Dit moet ook Descartes zijn opgevallen, en was voor hem waarschijnlijk een aansporing de ‘Rules for Direction of the Mind’ te schrijven. Hij had een heldere methode nodig om tot goede fysische resultaten te kunnen komen. Het feit dat hij zo’n methode uitwerkte in de ‘Rules’, en later in enigszins gewijzigde vorm publiceerde in zijn beroemde werk uit 1637, de ‘Discourse on the Method’, zou de verwachting kunnen wekken dat de uiteindelijke Cartesiaanse fysica een zeer wiskundige wetenschap was die uiterst modern aandoet. Dit is echter niet het geval.

### 3.2 Descartes’ latere fysica

Eén van de opgaven waar Descartes voor stond was de verklaring van de bewegingen der planeten in termen van de *res exetensa* – de enige termen die in een fysische theorie mochten worden toegelaten. Een logische consequentie van deze conceptie van materie was dat er geen lege ruimte, dat wil zeggen ruimte waarin zich geen materie bevindt, bestaat. Immers, deze ruimte zou als enige eigenschap uitgebreidheid hebben – maar dit is exact de enige eigenschap van materie, zodat er geen verschil kan bestaan tussen ‘lege’ ruimte en ‘volle’ ruimte. Omdat twee deeltjes niet op dezelfde plaats kunnen zijn, volgt hieruit dat materie zich alleen in circulaire banen kan bewegen. Immers, voordat een deeltje kan bewegen moet er een ander deeltje plaats maken, en dit proces zal zich *ad infinitum* herhalen indien het niet in een cirkelbeweging plaats vindt. De fijne materie die zich om de zon bevindt vormt nu een ‘vortex’, een uitgebreide circulaire beweging met verschillende snelheden op verschillende afstanden van de zon, waarin de planeten worden meegeduwd. De verschillende stralen van de planeetbanen worden veroorzaakt door centrifugale werkingen, en de verschillende snelheden doordat de vortex niet op elk punt even snel beweegt. Tot zover lijkt het mechanische model de waarnemingen aardig te kunnen verklaren – maar nu beginnen de problemen. Waar dit model absoluut niet toe in staat is, is het repliceren van nauwkeurige waarnemingsgegevens. Met behulp van de enige verklarende principes die Descartes toelaat, uitgebreidheid en botsingen, is het niet mogelijk een eenvoudige fysische verklaring te geven van de mathematische wetten waaraan de planeetbewegingen voldoen. Dit is iets wat de zeer on-Cartesiaanse gravitatie-theorie van Newton wel bleek te kunnen.

In het algemeen kunnen wij stellen dat ook Descartes’ latere fysica, zoals deze bijvoorbeeld aan bod komt in ‘The Principles of Philosophy’, weinig mathematisch is. Eerst lijkt dit nog mee te vallen. Hij komt in het tweede deel van dit werk met een primitieve conceptie van ‘impuls’, en stelt een wet van behoud van impuls op. Deze wet is foutief, aangezien Descartes beweging niet als vectorgrootte opvat en het bovendien niet mogelijk is impuls te definiëren

zonder over het on-Cartesiaanse begrip ‘massa’ te spreken – maar dat neemt niet weg dat er tenminste geprobeerd wordt een mathematische fysica op te zetten. Het concept ‘behoudswet’ is zelfs revolutionair te noemen. Even later leidt Descartes ook een aantal botsingswetten af, mathematische beschrijvingen van het proces waarbij twee lichamen met elkaar botsen. Op de eerste na zijn deze allemaal onjuist, maar dit is opnieuw geen fundamenteel probleem. De Cartesiaanse filosofie lijkt een wiskundige benadering van de natuurwetenschap in ieder geval toe te laten.

Maar na de formulering van de botsingswetten verdwijnt de wiskunde plotseling uit de ‘Principles’. Er volgens tientallen verhandelingen over zulke uiteenlopende fysische fenomenen als planeetbewegingen, sterren, gravitatie, warmte en magnetisme, waarin de wiskunde geen enkele rol meer speelt. En wanneer Descartes zijn boek aan prinses Christina van Zweden aanprijst, zegt hij:

...dat het niet nodig is te blijven staan bij het onderzoek van de stootwetten, die in art. 46 en volgende van het tweede deel voorkomen, omdat ze niet noodzakelijk zijn voor een goed begrip van wat er volgt.<sup>5</sup>

De enige conclusie die wij kunnen trekken is dat Descartes er niet in slaagde de mathematische fysica waar hij eens van droomde en die door zijn filosofie werd voorgeschreven te verwezenlijken. In plaats van de kwantitatieve wetten en fysische verklaringen die wetenschappers als Newton wisten voor te brengen, blijft de Cartesiaanse natuurkunde steken in kwalitatieve verklaringen die slechts op het meest oppervlakkige niveau iets met wiskunde van doen hebben.

## 4 Conclusie

Dit alles toont ons een prachtig voorbeeld van historische ironie. Juist doordat Descartes op een fundamenteel niveau wiskunde en fysica verenigde, slaagde hij er niet in een werkende mathematische fysica op te zetten. De door zijn filosofie van de *res extensa* geïnspireerde beperkingen die hij oplegde aan natuurkundige verklaringen ontnamen hem bij voorbaat de werktuigen die nodig zouden blijken voor de grote fysische theorieën. Het bleek in de praktijk niet mogelijk verklaringen te geven voor natuurkundige fenomenen in niet meer dan termen van uitgebreidheid en botsingen.

Descartes neemt, zoals ik in de inleiding aangaf, daarmee een bijzondere plaats in in de wetenschapsgeschiedenis. Hij wist met zijn uitgebreide en goed onderbouwde filosofie een brede steun te creëren voor de mechanisering en mathematisering van het wereldbeeld, en daarmee voor de op wiskunde gestoelde natuurwetenschappen. Tegelijkertijd was de Cartesiaanse traditie die hij hiermee oprichtte niet in staat deze natuurwetenschap werkelijkheid te maken. Hier toe moesten eerst de strikte eisen van Descartes versoepeld worden. De mathematisering van de fysica blijkt hiermee geen simpel proces dat rechtlijnig van de Aristotelianse visie tot de moderne visie leidde, maar dat op verschillende niveaus – meer fundamentele en meer praktische – plaats vond, en soms verder doorschoot dan uiteindelijk zinvol bleek.

<sup>5</sup>Citaat overgenomen uit Hoeven, dr. P. van der, *Descartes*, Wereldvenster/Baarn, 1972, pagina 106



## A Literatuurlijst

- Descartes, *Rules for the Direction of the Mind*, uit *The Philosophical Works of Descartes*, vertaald door E. S. Haldane en G. R. T. Ross, deel 1, Cambridge University Press, 1973
- Descartes, *Discours on the Method of Rightly Conducting the Reason*, uit *zie boven*
- Descartes, *Meditations on First Philosophy*, uit *zie boven*
- Descartes, *The Principles of Philosophy*, uit *zie boven*
- Gaukroger, Stephen, *Descartes' Project for a Mathematical Physics*, uit *Descartes – Philosophy, Mathematics & Physics*, Stephen Gaukroger (ed), The Harvester Press, 1980
- Henry, John, *The Scientific Method*, uit *The Scientific Revolution and the Origins of Modern Science*, Macmillan, 1997
- Hoeven, dr. P. van der, *Descartes*, Wereldvenster/Baarn, 1972
- Larmore, Charles, *Descartes' Empirical Epistemology*, uit *Descartes – Philosophy, Mathematics & Physics*, Stephen Gaukroger (ed), The Harvester Press, 1980
- Lunteren, dr. F. H. van, *Collegedictaat 'Inleiding tot de geschiedenis van de natuurkunde'*, Universiteit Utrecht, 1999
- Maull, Nancy L., *Cartesian Optics and the Geometrization of Nature*, uit *Descartes – Philosophy, Mathematics & Physics*, Stephen Gaukroger (ed), The Harvester Press, 1980
- Schuster, John A., *Descartes' Mathesis Universalis, 1619-28*, uit *Descartes – Philosophy, Mathematics & Physics*, Stephen Gaukroger (ed), The Harvester Press, 1980
- Westfall, Richard S., *The Construction of Modern Science – Mechanisms and Mechanics*, Cambridge University Press, 1999