

## Over de methode, beginselen en fundering van de Cartesiaanse natuurwetenschap

G.J.E. Rutten

### Introductie

René Descartes wordt beschouwd als de grondlegger van de moderne wijsbegeerte of in ieder geval als één van de meest invloedrijke filosofen van de Nieuwe Tijd. Naast wijsgerig werk leverde Descartes ook substantiële bijdragen aan de wiskunde en de natuurwetenschappen. Zijn natuurwetenschappelijke vondsten bestrijken vooral de mechanica, optica, meteorologie, fysiologie en kosmologie. De onderzoeken van Descartes op het gebied van de wiskunde en de natuurwetenschappen zijn echter onlosmakelijk verbonden met zijn wijsbegeerte. Zijn denken vormt in feite een allesomvattend en hecht geïntegreerd geheel waarbij de functie van de wijsbegeerte er vooral in bestaat om de natuurwetenschappen van de juiste methode te voorzien en de eerste beginselen van de natuurwetenschappen te funderen.

In dit artikel wil ik ingaan op genoemde methode, beginselen en fundering. Allereerst zal ik bespreken waaruit de Cartesiaanse methode precies bestaat en hoe deze zich verhoudt tot de wetenschapsleer van Aristoteles. Tevens wil ik de belangrijkste historische invloeden nagaan die volgens mij bepalend zijn geweest voor het tot stand komen van de Cartesiaanse methode.

Vervolgens zal ik de eerste beginselen van de Cartesiaanse natuurwetenschap uiteenzetten. Het zal blijken dat deze beginselen resulteren in een natuurwetenschappelijk wereldbeeld dat radicaal verschilt van dat van Aristoteles. De belangrijkste implicaties hiervan voor het denken over de aard van de mens en de rol van de rede zal hierbij ook aan de orde komen.

Descartes beroept zich op een waarheidsregel om de beginselen van zijn natuurwetenschap te funderen. In zijn metafysica probeert Descartes deze regel op haar beurt te grondvesten om zo de rechtvaardiging van zijn natuurwetenschap te voltooien. Een in de literatuur veel gehoorde kritiek is dat Descartes' poging om zijn waarheidsregel te funderen circulair is. Mijns inziens is er echter een reconstructie van zijn funderingspoging mogelijk welke enigszins tegemoet komt aan dit bezwaar van circulariteit. Aan het slot van dit artikel zal ik hier nader op ingaan.

### Algemene methode

In zijn *Discours de la méthode* (Uiteenzetting over de methode) geeft Descartes een globale schets van zijn methode om in de wetenschappen tot zekere kennis te komen. Descartes stelt dat hij door gebruik te maken van deze methode 'al grote vorderingen heeft gemaakt in het achterhalen van de waarheid'. De methode zoals hij deze in genoemd autobiografisch werk kort schetst bestaat uit vier grondregels. De eerste regel eist dat we louter volstrekt evidente ofwel heldere en welonderscheiden rationele inzichten moeten toelaten in de opbouw van onze kennis. De tweede regel geeft aan dat ieder probleem in zoveel mogelijk niet nader analyseerbare stukjes moet worden verdeeld als voor de juiste oplossing ervan noodzakelijk is. De derde regel eist dat redeneringen beginnen met de meest eenvoudig kenbare dingen om vervolgens op te stijgen tot de kennis van de meest ingewikkelde zaken. De vierde en laatste regel geeft aan dat wij onze verworven kennis moeten organiseren in volledige overzichten.

In zijn eerdere onvoltooid gebleven *Regulae ad Directionem Ingenii* (Regels om richting te geven aan het verstand) geeft Descartes een veel uitgebreidere beschrijving van zijn methode om ‘ons verstand goed te gebruiken’ en zo ‘onze zekere kennis in de wetenschappen stap voor stap te vergroten’. De laatste drie grondregels uit het *Discours* komen niettemin precies overeen met regel vijf, zes en zeven van de *Regulae*. Zo stelt de vijfde regel uit de *Regulae* dat we gecompliceerde en onduidelijke proposities zo ver mogelijk moeten reduceren tot eenvoudigere proposities om vervolgens uitgaande van deze enkelvoudige stellingen weer stap voor stap op te klimmen tot de kennis van de rest. De zevende regel van de *Regulae* geeft vervolgens een nadere toelichting op hoe dit opklimmen in zijn werk zou moeten gaan terwijl de zesde regel van de *Regulae* juist een invulling geeft van het soort eenvoud waarnaar we in de reductie op zoek zijn (namelijk ‘absolute enkelvoudige naturen’). De eerste grondregel van het *Discours* grijpt ook duidelijk terug op de *Regulae*. Zo stelt de tweede regel van de *Regulae* dat wij ons ‘alléén moeten richten op die objecten waarvan onze geest zekere en onbetwifelbare kennis kan hebben’. De derde regel van de *Regulae* spreekt bovendien over de volstrekt onbetwifelbare intuïties waarop wij onze deducties altijd moeten baseren. Dit is eveneens een duidelijke vooruitwijzing naar de eerste grondregel van het *Discours*. Met de vier in zijn *Discours* genoemde grondregels is de algemene methode van Descartes dan ook voldoende gekarakteriseerd om de in de introductie gestelde vragen te kunnen behandelen.

Het is wellicht verrassend om te moeten constateren dat de methode van Descartes op een groot aantal punten nauw aansluit op het Aristotelische wetenschapsmodel. Descartes eist dat wetenschappelijke kennis zeker is en deductief wordt afgeleid uit eerste beginselen. Dit past geheel in het op Aristoteles’ *Analytica Posteriora* teruggaande axiomatisch-deductieve wetenschapsmodel waarbij wetenschappelijke kennis noodzakelijk moet zijn en eveneens moet worden gedemonstreerd vanuit eerste principes. Voor beide geldt dat wetenschappelijke en dus zekere kennis altijd kennis betreft van en vanuit de uiteindelijke oorzaak of oorzaken.

Naast genoemde overeenkomsten zijn er echter ook significante verschillen aan te wijzen. Zo lijkt Descartes in tegenstelling tot het Aristotelische wetenschapsmodel geen duidelijk onderscheid te maken tussen de orde van de begrippen en de orde van proposities. Descartes spreekt steeds over intellectuele inzichten of de ideeën van onze rede zonder dat voldoende duidelijk wordt of hij het nu heeft over concepten of proposities. Hij lijkt met de notie van ‘idee’ of ‘inzicht’ beide te bedoelen. Verder worden de eerste beginselen bij Aristoteles door inductie uit de ervaring afgeleid terwijl de eerste beginselen bij Descartes geheel a priori moeten worden gevonden door het ‘natuurlijke licht van onze rede’. Dit betekent dat de eerste beginselen bij Descartes steeds zelfevident ofwel onbetwifelbaar moeten zijn. Een dergelijke karakterisering van de eerste beginselen past totaal niet bij het wetenschappelijke denken van Aristoteles omdat de uit onze zintuiglijke ervaring geabstraheerde essenties of wezensvormen weliswaar zeker gekend worden, maar daarom uiteraard nog niet zelfevident zijn. Zo zien we dat Aristoteles beschikt over een zeer groot aantal verschillende eerste beginselen (namelijk net zoveel als er essenties of wezensvormen in de natuur zijn) terwijl Descartes slechts kan beschikken over een beperkt aantal a priori onbetwifelbare waarheden als eerste beginselen. Descartes heeft daarom een onderzoeksheuristiek nodig om onze wetenschappelijke kennis daadwerkelijk te kunnen uitbreiden. Descartes kan de op inductie ofwel abstractie gebaseerde heuristiek van Aristoteles immers niet accepteren omdat hij

aanneemt dat de eerste beginselen niet uit de zintuiglijke ervaring maar juist uit onze zuivere rede stammen. Deze eerste ideeën of inzichten van de rede zijn volgens hem zelfs aangeboren. Dit rationalistische uitgangspunt wijkt uiteraard sterk af van het empiristische denken van Aristoteles die immers stelt dat er ‘niets in het verstand kan zijn dat niet eerder in de zintuigen is geweest’. In tegenstelling tot Descartes meent Aristoteles dan ook dat al onze kennis geheel uit de ervaring stamt.

In plaats van inductie kiest Descartes dan ook voor analyse. Dit wordt uitgedrukt door zijn tweede grondregel. Het is dan ook deze grondregel die het belangrijkste verschil vormt met de Aristotelische wetenschapsleer. Deze grondregel geeft aan dat we vanuit gegeven gevolgen steeds moeten proberen om de weg terug te vinden naar de eerste oorzaak of oorzaken. Deze oorzaken kunnen gevonden worden wanneer we het gevolg als gegeven complexiteit ontleden in steeds eenvoudigere bestanddelen net zolang totdat we uiteindelijk zijn uitgekomen bij de volstrekt heldere en welonderscheiden fundamentele constituenten (ofwel de ‘enkelvoudige naturen’). Wanneer we langs deze weg de oorzaak of oorzaken gevonden hebben moeten we vervolgens het gevolg deductief uit deze oorzaken afleiden. Het kan zijn dat we in sommige gevallen meerdere mogelijke verklaringen voor een verschijnsel vinden. Dit is het geval wanneer we niet in staat zijn om onze analyse ofwel reductie helemaal te voltrekken tot aan de allereerste evidente beginselen. In dat geval moeten we één van de mogelijke verklaringen als hypothese aannemen en vervolgens op basis van wetenschappelijke experimenten empirisch toetsen of deze hypothese inderdaad houdbaar is. Descartes maakt bijvoorbeeld in zijn vanwege de veroordeling van Galileo Galilei nooit gepubliceerde *Le Monde* gebruik van specifieke hypothesen om verschijnselen als licht, het smelten van metalen en verbranding te verklaren. De algemene methode van Descartes heeft daarom een zogenaamde hypothetisch-deductieve structuur. We postuleren door precieze analyse van gegeven natuurverschijnselen een specifiek verklaringsmodel waaruit deze verschijnselen helder en eenduidig afleidbaar zijn. Vervolgens trachten we door middel van empirische experimenten dergelijke modellen te staven. We zien zo dat naast onze rede toch ook de zintuiglijke waarneming bij Descartes van belang blijft. Ervaring speelt in zijn methode echter zoals gezegd geen rol om kennis van de eerste evidente beginselen te verkrijgen. De eerste beginselen moeten immers louter op a priori gronden door ons verstandsvermogen gevonden worden. Dit betekent dat bij Descartes de ervaring alléén een rol speelt om te kunnen beschikken over een arsenaal van te verklaren natuurverschijnselen en om specifieke verklaringshypothesen voor specifieke verschijnselen empirisch te kunnen toetsen. Hypothesen (en dus empirische experimenten) zijn echter zoals eerder aangegeven alléén vereist voor het verklaren van verschijnselen die door toepassing van het instrument van de analyse niet volledig reduceerbaar blijken tot aan de allereerste evidente beginselen. Wanneer een verschijnsel volledig vanuit eerste beginselen kan worden afgeleid is er dus geen enkel beroep op hypothesen en experimenten nodig. Zo leidt Descartes bijvoorbeeld in zijn hierboven genoemde *Le Monde* en ook in zijn latere wel gepubliceerde *Principia philosophiae* (Principes van de filosofie) uitsluitend op basis van eerste beginselen het natuurlijk ontstaan van het zonnestelsel af vanuit een volstreekte chaos van materiedeeltjes. Descartes laat het in zijn beschouwingen dan ook niet na om de empirische ofwel zintuiglijke ervaring als fundamentele kennisbron stelselmatig te blijven wantrouwen.

Een ander belangrijk verschil tussen beide methoden welke ik hier niet onvermeld wil laten betreft de karakterisering van deductie. Volgens het op Aristoteles teruggaande scholastieke

wetenschapsmodel moet gebruik worden gemaakt van de syllogistische logica om stellingen uit axioma's te bewijzen. Descartes heeft echter weinig op met deze logica. Zo stelt hij in het tweede gedeelte van zijn uiteenzetting over de methode dat 'de syllogismen eerder dienen om aan anderen uit te leggen wat men al weet dan om nieuwe kennis op te doen'. Descartes kiest voor een psychologisch gefundeerde logica welke de syllogistiek moet vervangen. Volgens de 'nieuwe logica' van Descartes moeten heldere en welonderscheiden ideeën ofwel intuïties steeds op volstrekt transparante wijze door ons verstand met elkaar verbonden worden zodat overtuigende en onbetwifelbare mentale redeneerketens ontstaan. De geldigheid van een bepaalde redenering wordt zo niet langer bepaald door de formele syntactische vorm van de proposities, maar juist door de vraag of de redenering bestaat uit een hechte aaneenschakeling van onderling op transparante en overtuigende wijze verbonden heldere en welonderscheiden intellectuele inzichten. De Cartesiaanse logica is informeel van aard omdat zij voornamelijk is gebaseerd op een psychologische beschrijving van de werking van ons verstandsvermogen. Deze beschrijving vinden we hoofdzakelijk in regel drie, zeven en elf van de *Regulae*. In zijn *Discours* stelt Descartes dat 'de lange ketens van gemakkelijke en eenvoudige afleidingen waarvan wiskundigen zich bedienen om tot hun moeilijkste bewijzen te komen' hem op het idee van deze nieuwe logica hebben gebracht. Het waren inderdaad precies de 'zekere en vanzelfsprekende redeneringen van wiskundigen' die juist géén gebruik maakten van het keurslijf van de traditionele syllogismenleer. De redeneringen van wiskundigen waren in plaats daarvan juist altijd gebaseerd op intuïtief transparante en overtuigende redeneerstappen uitgaande van volstrekt heldere en welonderscheiden mentale ideeën ofwel inzichten. Dit model van wiskundig logisch redeneren wordt nu door Descartes naar voren geschoven als maatgevend voor zijn nieuwe logica en daarmee voor zijn wetenschappelijke methode. Descartes duidt in zijn *Discours* zijn methode zelfs expliciet aan als een nieuwe logica. In zijn nieuwe verstandslogica staat in tegenstelling tot de beperkte syllogismenleer dus niet langer het syntactische regelgeleide formalisme centraal. Zijn nieuwe logica draait immers volledig om psychologische ofwel mentale criteria zoals helderheid, transparantie, evidentie, zekerheid en onbetwifelbaarheid. Niet de door talloze formele regels beheerste syntactische structuur van onze bewijzen maar juist het voor ons verstand helder en welonderscheiden zijn van onze redeneerstappen en bijbehorende ideeën is voor Descartes maatgevend voor de geldigheid van onze afleidingen. In plaats van de syntactische samenstelling van premissen en conclusies volgens formele regels gaat het hem dus juist om de psychologische vraag of een intuïtie of koppeling van intuïties onze geest daadwerkelijk overtuigt en zo geen ruimte voor twijfel laat.

Zoals gezegd is de tweede grondregel uit het *Discours* (ofwel het instrument van analyse om heuristisch onze kennis daadwerkelijk te kunnen uitbreiden) het meest treffende verschil met de op Aristoteles teruggaande wetenschapsleer. Aristoteles ging zelf immers uit van een inductieve ontdekkingsheuristiek. Hoe kwam nu Descartes op dit alternatief voor inductie? In dit verband wil ik graag op twee volgens mij belangrijke historische ontwikkelingen wijzen.

In de eerste plaats ontwikkelde Descartes tijdens zijn jonge jaren een wiskundige techniek om geometrische problemen op te lossen door deze te vertalen in algebraïsche vergelijkingen en de uit deze vergelijkingen verkregen algebraïsche oplossingen vervolgens geometrisch te interpreteren. Deze techniek toont hij in zijn essay *La Géométrie*. Dit essay moest samen met zijn essays *Les Météores* en *La Dioptrique* een demonstratie vormen van de vruchtbaarheid van zijn methode voor de wetenschappen. Hij behaalde met zijn algebraïsche benadering van

meetkundige problemen grote successen. Zo wist hij bijvoorbeeld het probleem van Pappus uit de vierde eeuw na Christus op te lossen. Waarschijnlijk is Descartes op jonge leeftijd zo onder de indruk geraakt van zijn wiskundige techniek dat hij deze generaliseerde door haar ook van toepassing te verklaren op de andere wetenschappen. De kern van deze techniek van algebraïsche behandeling van meetkundige problemen bestond nu juist uit het toepassen van de heuristiek van analyse. Zoals uit *La Géométrie* blijkt vertaalt Descartes een meetkundig probleem immers eerst in de vraag naar het vinden van de lengte van bepaalde lijnstukken in een geometrisch figuur. Vervolgens geeft hij aan zowel de lengte van bekende als aan de lengte van de onbekende lijnstukken een naam. Door nu één grootte op verschillende manieren uit te drukken kunnen de onbekenden uit de ontstane algebraïsche vergelijkingen worden opgelost. Hier treedt duidelijk een analytische beweging op van het herleiden van een ingewikkelde geometrische figuur tot meer eenvoudige verbanden tussen de lengten van enkelvoudige lijnstukken. Zijn wiskundige techniek bestaat dus in wezen uit het uiteenrafelen van complexe meetkundige configuraties. Genoemde generalisatie van deze techniek kon dan ook niet anders dan uitmonden in de tweede grondregel van zijn methode. In *La Géométrie* blijft echter, nadat als onderdeel van de analysefase de vergelijkingen zijn opgelost, de geometrische constructie van de oplossing essentieel. Vanuit de gevonden analytische ontleding moet dus vervolgens het eigenlijke bewijs als constructie worden opgebouwd. Descartes beschouwde deze constructiefase dus nog altijd als de daadwerkelijke demonstratie van de oplossing. Dit sluit naadloos aan bij de tweede grondregel van zijn algemene methode die immers kan worden beschouwd als een analytisch vooronderzoek waarna pas het echte bewijs kan plaatsvinden volgens een heldere afleiding uit de gevonden eenvoudige welonderscheiden constituenten. De derde en vierde grondregel van zijn methode verwijzen naar deze vereiste bewijsvoering. Deze twee grondregels vertegenwoordigen zo de weg van de synthese als aanvulling op de analytische ontdekkingsheuristiek van de tweede grondregel. Vanuit dit perspectief is *La Géométrie* dan ook niet slechts één van de vele voorbeelden van Descartes' algemene wetenschappelijke methode. Dit essay gaat voor wat betreft haar inhoud juist vooraf aan de wetenschapsleer van Descartes en staat daarmee dus aan de basis van het ontstaan van Descartes' algemene methode voor de wetenschappen.

In de tweede plaats moet worden opgemerkt dat de wiskunde van de late oudheid en de renaissance ook al beschikte over een analytische heuristiek om oplossingen van wiskundige problemen te ontdekken. Descartes was dus zeker niet de eerste die de vruchtbare heuristiek van de analyse toepaste in de wiskunde. Gezien zijn voor die tijd hoogwaardige opleiding aan het jezuïetencollege van La Flèche (waar ook de mathematica op het onderwijsprogramma stond) en zijn enorme gepassioneerde (met zijn vroegere inspirator Isaac Beekman gedeelde) interesse voor de wiskunde lijkt het niet erg waarschijnlijk dat hij geen kennis heeft genomen van deze vruchtbare manier van wiskunde beoefenen. Het is dan ook zeker voorstelbaar dat hij door het uitvoerig bestuderen van de in zijn tijd bekende wiskunde in contact kwam met het gebruik van het instrument van analyse en dat hij dit vervolgens op geheel eigen wijze productief maakte om zo te komen tot zijn succesvolle wiskundig analytische techniek van het algebraïsch behandelen van meetkundige problemen. Vervolgens raakte hij zoals gezegd blijkbaar zo enthousiast over zijn wiskundige techniek dat hij deze generaliseerde en (naast de Aristotelische axiomatische deductie ofwel demonstratie door synthese) tot de kern van zijn algemene methode maakte voor het verwerven van nieuwe zekere kennis over de natuur.

Zo ontstaat een mogelijk interessante historische figuur. Het is immers zeer aannemelijk dat

ook Aristoteles werd geïnspireerd door de wiskunde om te komen tot zijn synthetische wetenschapsleer welke uitgaat van het demonstreren van zekere kennis uit eerste principes. De wiskunde die op de Academie van Plato (waaraan alle belangrijke wiskundigen van die tijd verbonden waren) uitvoerig werd onderwezen was namelijk al veel langer gebaseerd op deductieve bewijsvoering uitgaande van gegeven premissen. De notie van een deductief mathematisch bewijs komt bovendien al voor bij de vroegere Pythagoraeërs. De deductieve aanpak van wiskundige problemen kon Aristoteles (die immers ongeveer twintig jaar aan de Platoonse Academie verbonden is geweest) dus zeker als voorbeeld voor zijn demonstratieve wetenschapsmodel hebben gediend. Vele eeuwen later laat Descartes zich zoals we gezien hebben eveneens door de wiskunde inspireren voor het ontwikkelen van zijn algemene wetenschappelijke methode. De wiskunde had gedurende het hellenisme en ten tijde van de vroege renaissance echter een belangrijke ontwikkeling doorgemaakt. Naast de weg van de synthese voor het leveren van bewijzen had de wiskunde namelijk ook de weg van de analyse ontdekt voor het heuristisch vinden van allerlei nieuwe wiskundige stellingen. Zo maakte Archimedes een eeuw na Aristoteles uitvoerig gebruik van analyse om tot zijn wiskundige resultaten te komen. Omstreeks 320 na Christus gaf Pappos bovendien de eerste expliciete uiteenzetting van de analytische ontdekkingsheuristiek voor de wiskunde. Niet alleen de weg van de synthese voor de uiteindelijke formele bewijsvoering maar ook de richting van de analyse voor het vinden van nieuwe stellingen was dus in de wiskundige praxis bepalend geworden. Dit ging uiteindelijk zelfs zo ver dat bijvoorbeeld sommigen een algebraïsche analytische afleiding als voldoende begonnen te beschouwen en niet langer achteraf een meetkundige synthetische constructie als het ‘eigenlijke’ bewijs vereisten. Precies deze analytische component wordt door Descartes nu netjes geïntegreerd in zijn nieuwe methode. Descartes gaat echter niet zo ver dat hij de demonstratieve weg van de synthese wil laten vervallen. Integendeel, hij houdt in zijn algemene methode vast aan de hoofdlijnen van het Aristotelische demonstratieve wetenschapsmodel en voegt op precies dezelfde wijze als in de wiskunde gebeurde de analytische heuristiek toe aan de methodiek van de demonstratieve synthese. De methodologische ontwikkelen in de wiskunde lijken dus een inspiratiebron te zijn geweest voor de methode van zowel Aristoteles als Descartes. De wetenschapsleer lijkt dus vanaf Aristoteles tot aan in ieder geval het begin van de Nieuwe Tijd de methodologische vernieuwingen in de wiskunde steeds met vertraging te hebben gevolgd en overgenomen. In dit artikel kan deze historische figuur helaas niet verder worden onderzocht en uitgewerkt.

De eerste grondregel van Descartes’ methode is tot nu toe enigszins onbelicht gebleven. De wiskunde heeft echter ook een doorslaggevende rol gespeeld bij de totstandkoming van deze eerste grondregel. Dit wil ik hier eveneens kort toelichten. Volgens de eerste grondregel van Descartes methode dienen we zoals gezegd uitsluitend gebruik te maken van volstrekt heldere en welonderscheiden inzichten ofwel volkomen evidente en onbetwifelbare ideeën voor het opbouwen van onze zekere kennis over de werkelijkheid. Nu berust de eerste grondregel van Descartes’ algemene methode feitelijk op een waarheidsregel. Volgens deze waarheidsregel zijn alle ideeën die wij met ons verstandsvermogen op een heldere en welonderscheiden (en daarmee op een onbetwifelbare en zelfevidente wijze) inzien waar. Dit waarheids criterium (en dus de eerste grondregel van zijn methode) lijkt Descartes eveneens aan de wiskunde te hebben ontleend. In de wiskunde gold namelijk al veel langer het principe dat alléén volstrekt heldere en zelfevidente inzichten als axioma mochten worden gebruikt voor het bewijzen van allerlei mathematische theorema’s. Precies zijn duiding van de eerste beginselen als zijnde heldere zelfevidente intellectuele inzichten lijkt Descartes dus te hebben

overgenomen van de wiskunde en vervolgens te hebben geïntegreerd in zijn algemene wetenschappelijke methode. Het waarheidscriterium van de wiskunde werd zo een algemene waarheidsregel voor de eerste beginselen van alle mogelijke wetenschappen. Descartes was feitelijk zelfs de eerste die eiste dat de eerste beginselen van iedere wetenschap helder en zelfevident moeten zijn.

### **Eerste beginselen**

Tot dusver hebben we uitsluitend gekeken naar de algemene wetenschappelijke methode van de Cartesiaanse natuurwetenschap en naar hoe Descartes door de wiskunde geïnspireerd kon worden om tot zijn methode te komen. Nu zullen we nader gaan kijken naar hoe Descartes de inhoud van zijn fysica vanuit eerste beginselen invult en welke rol de wiskunde hierbij speelt.

De Cartesiaanse fysica wordt voornamelijk behandeld in het vroegere *Le Monde*, het vijfde deel van het *Discours* en in het latere *Principia philosophiae*. Zoals aangegeven is de fysica van Descartes gebaseerd op een beperkt aantal eerste beginselen. Volgens één van zijn eerste beginselen blijft de totale hoeveelheid beweging in de wereld constant. Dit betreft feitelijk de allereerste kwantitatieve behoudswet in de geschiedenis van de natuurwetenschap. Daarnaast introduceert Descartes als eerste beginsel een zogenaamde traagheidswet voor beweging. Dit inertiebeginsel zou later in ongewijzigde vorm door Isaac Newton worden overgenomen.

Verreweg het allerbelangrijkste eerste beginsel van zijn natuurwetenschap betreft echter zijn zogenaamde substantiedualisme (volgens welke de menselijke geest en de materie de enige twee substanties in de wereld zijn) in combinatie met de claim dat de materiële substantie restloos samenvalt met ruimtelijke uitgebreidheid. De externe wereld buiten de menselijke geest (waartoe dus ook ons lichaam en het gehele planten- en dierenrijk behoort) bestaat dan ook uit niets anders dan in beweging zijnde materiële corpusculaire deeltjes die identiek zijn met hun geometrische configuratie en waarvoor geldt dat hun onderlinge wisselwerking uitsluitend plaatsvindt door ‘druk en stoot’ ofwel mechanistische botsingsprocessen. De enige werkelijke eigenschappen van de materiële wereld zijn dus meetkundige vorm, grootte, aantal en beweging. Uit dit eerste beginsel volgt direct dat de wiskunde volledig van toepassing is op de buiten onze geest bestaande materiële natuur. Materie is immers niets anders dan uitgebreidheid (‘*res extensa*’) waarop we dan ook de Euclidische meetkunde restloos kunnen toepassen. Dit eerste beginsel resulteert zo in een strikt mechanistisch en mathematisch natuurwetenschappelijk wereldbeeld waarin niet langer plaats is voor allerlei dynamische Aristotelische wezensvormen ofwel kwalitatieve essenties en waaraan alléén onze geest (welke geheel samenvalt met denkactiviteit en daarom door Descartes omschreven wordt als ‘*res cogitans*’ ofwel ‘denkend ding’) nog kan ontsnappen.

Het derde hierboven genoemde eerste beginsel is bij Descartes feitelijk een direct gevolg van zijn denken over welke mentale voorstellingen volkomen duidelijk en welonderscheiden zijn. Descartes is er namelijk van overtuigd dat alléén de mathematische concepten van getal, maat en vorm voor ons verstand volstrekt helder en evident zijn. Zo stelt hij in zijn *Discours* dat ‘van al diegenen die tot nu toe in de wetenschappen naar waarheid hebben gezocht alléén de wiskundigen zekere en evidente redeneringen hebben kunnen vinden’ en ‘dat dit samenhang met de aard van de objecten waarop hun onderzoek betrekking heeft’. In de tweede regel van zijn *Regulae* stelt hij bovendien dat we ‘alleen datgene moeten aannemen wat we perfect kunnen weten en waaraan we niet kunnen twijfelen’ om vervolgens te concluderen dat ‘we

ons moeten beperken tot louter rekenkunde en meetkunde als we ons aan deze regel houden'. Even later stelt hij als onderdeel van zijn behandeling van deze tweede regel dat 'slechts de rekenkunde en geometrie vrij zijn van onzekerheid' en daarna dat 'alléén de objecten van de wiskunde zo zuiver en eenvoudig zijn dat er geen enkele sprake kan zijn van twijfel'. Volgens Descartes zijn dus alléén wiskundige concepten volstrekt duidelijk en onbetwifelbaar. We zien hier opnieuw hoe Descartes telkens teruggrijpt op de wiskunde. Hierbij zal ongetwijfeld eveneens zijn diepe argwaan tegenover zintuiglijke ervaring als bron van kennis een belangrijke rol hebben gespeeld. Uit Descartes' gedachte dat alléén wiskundige concepten volstrekt helder en zelfevident zijn, volgt nu inderdaad dat de hele extramentale natuurlijke wereld restloos mathematisch van aard moet zijn omdat wij anders geen volkomen zekere kennis over deze externe materiële natuur kunnen opbouwen. Het hierboven besproken eerste beginsel van zijn fysica ('materie is niets anders dan geometrische uitgebreidheid') volgt zo dus uit Descartes' denken over welke ideeën volstrekt helder en duidelijk zijn. Dit eerste beginsel werkt zelfs als een mogelijkhedenvoorwaarde voor zekere natuurwetenschap omdat zonder dit beginsel de Cartesiaanse fysica niet de vereiste volledige zekerheid verkrijgt.

We zien zo dat de wiskunde niet alleen bepalend is voor de algemene methode van de fysica, maar nu ook voor de aard van haar onderzoeksobject en daarmee voor haar inhoud. Dit object (de extramentale materiële werkelijkheid) is immers niets anders dan louter mathematische geometrische uitgebreidheid. De wiskunde bepaalt dus zowel de algemene wetenschappelijke methode als het wezen van het onderzoeksobject van de natuurwetenschap.

Deze conclusie hebben we gemotiveerd vanuit een evaluatie van Descartes' denkbeelden over welke intellectuele ideeën volgens hem volstrekt helder en onbetwifelbaar zijn (namelijk wiskundige inzichten). Het is historisch gezien echter misschien waarschijnlijker om aan te nemen dat Descartes in zijn tijd eenvoudigweg al zoveel goede voorbeelden had gezien van succesvolle toepassingen van wiskunde in de natuurwetenschap (denk hierbij bijvoorbeeld aan de valwet van Galileo of de planeetwetten van Kepler) dat hij eenvoudigweg aannam dat de natuur zelf geheel ofwel restloos wiskundig van aard moet zijn. Deze gedachte staat niet ver af van de opvattingen van zijn tijdgenoten en directe voorgangers. Zo veronderstelde bijvoorbeeld ook Galileo en Kepler dat de natuurlijke werkelijkheid naar haar wezen essentieel iets met wiskunde te maken moet hebben. Men geloofde dat 'het boek van de natuur in de taal van de wiskunde geschreven moet zijn' ofwel dat de natuurprocessen door vaste mathematische relaties bepaald zijn en dus dat de natuurwetten wiskundig kunnen worden uitgedrukt. Wiskundige fysische modellen werden dan ook voortaan beschouwd als ware representaties van de werkelijke fysische stand van zaken in de wereld in plaats van als louter vrijblijvende instrumentele gelegenheidshypothesen zoals daarvoor het geval was. Reeds door tijdgenoten en onmiddellijke voorgangers van Descartes werd de wiskunde dus al beschouwd als een manier om de natuur te beschrijven zoals zij werkelijk is. De mathematica werd niet langer meer gezien als slechts een praktisch effectief instrument om waarneembare voorspellingen van bijvoorbeeld astronomische verschijnselen te berekenen waarbij aan de gebruikte wiskundige modellen géén enkele realiteitswaarde mocht worden toegekend.

Het radicale van Descartes ten opzichte van deze tijdgenoten en directe voorgangers is echter dat zij uiteindelijk niet verder gingen dan de opvatting dat de natuurlijke werkelijkheid op



waarachtige wijze wiskundig kan worden beschreven. Men nam dus wel aan dat de natuur wezenlijk op wiskunde betrokken moest zijn, maar men veronderstelde hierbij in tegenstelling tot Descartes niet dat de natuur zelf ook restloos wiskundig van aard is. Zo ging bijvoorbeeld Galileo net zoals de antieke atomisten uit van ‘gewicht’ of ‘zwaarte’ als een primaire en niet tot wiskundige concepten reduceerbare eigenschap van materie. Het vernieuwende van Descartes was dan ook dat hij de al langer bestaande ontwikkelingen van zeer succesvolle nieuwe toepassingen van wiskunde in de fysica bij ondermeer Kepler en Galileo tot in het extreme doortrok door te gaan veronderstellen dat uiteindelijk de gehele fysische werkelijkheid zelf restloos wiskundig van aard moet zijn. Vanuit deze radicale opvatting is het inderdaad onmiddellijk begrijpelijk waarom de wiskundige benadering van de wereld zo succesvol gebleken was. Dit was voor Descartes een niet onbelangrijke bijkomstigheid omdat het vanwege de vele geslaagde toepassingen van wiskunde in de natuurwetenschap sinds de late oudheid, de renaissance en aan het begin van de Nieuwe Tijd meer en meer van belang was geworden om een adequaat antwoord te vinden op de vraag waarom de wiskunde zo goed bleek te werken in de fysica. Bij Aristoteles speelde deze vraag geen enkele rol omdat daadwerkelijk serieuze voorbeelden van succesvolle wiskundige natuurwetenschap in zijn tijd niet of nauwelijks voorhanden waren. Bovendien blijft bij Aristoteles de rol van de wiskunde beperkt tot slechts de ruimtelijke en telbare kant van de stoffelijke dingen. Precies omdat Aristoteles aannam dat werkelijke zekere kennis slechts betrekking kon hebben op de onveranderlijke kwalitatieve wezensvormen ofwel essenties van de dingen, kon volgens Aristoteles de wiskunde nooit wezenlijke kennis van de werkelijkheid opleveren. Een wiskundige natuurwetenschap bleef zo bij Aristoteles buiten bereik. Dit gold overigens eveneens voor zijn leermeester Plato die aan de wiskunde vooral een opvoedkundige rol toekende. Wiskunde was volgens Plato hoofdzakelijk een voorbereiding tot de aanschouwing van de transcendenten Ideeën. Descartes moest echter zoals gezegd niets hebben van het postuleren van allerlei kwalitatieve essenties ofwel wezensvormen in de natuur. Het is dan ook inderdaad zoals gezegd aannemelijk dat juist de vele in Descartes’ tijd bekende voorbeelden van een geslaagde wiskundige benadering van de natuur uiteindelijk de werkelijke oorsprong vormden van zijn radicale eerste beginsel dat alle materie restloos moet samenvallen met wiskundige uitgebreidheid. We zien zo dat Descartes feitelijk weer teruggrijpt op de oude sinds Plato en Aristoteles in de vergetelheid geraakte Pythagoreïsche overtuiging ‘alles is getal’ waaruit eveneens heel duidelijk het primaat van de wiskunde in de fysica (of zelfs een onderschikking van de fysica aan de wiskunde) doorklinkt.

Descartes blijkt in staat om uit het eerste beginsel volgens welke de materiële natuur identiek is met geometrische uitgebreidheid een aantal natuurwetenschappelijke stellingen af te leiden. Zo volgt uit het samenvallen van materie en uitgebreidheid dat er geen vacuüm kan bestaan. Een vacuüm is zelf immers ook een uitgebreidheid en dus in niets van materie te onderscheiden. Uit het feit dat er geen vacuüm bestaat volgt vervolgens dat materie alléén kan bewegen wanneer andere materie van plaats verandert. Hieruit leidt hij af dat de beweging van materiedeeltjes noodzakelijk in gesloten draaibewegingen (zogenaamde wervelkolken of vortices) plaatsvindt. Verder concludeert Descartes vanuit dit beginsel dat de fysische ruimte net zoals de Euclidische ruimte oneindig en isotroop is. Daarnaast valt uit dit eerste beginsel af te leiden dat de materie tot in het oneindige deelbaar moet zijn omdat anders beweging in een universum zonder leegte niet mogelijk lijkt. Descartes neemt met deze laatste stelling afstand van het sinds de renaissance weer populair geworden antieke atomisme. Volgens het antieke atomisme bestaat de materie immers uit allerkleinste

ondeelbare atomaire deeltjes.

De kern van zijn waarnemingstheorie lijkt Descartes echter wel te hebben ontleend aan dit antieke atomisme. Net zoals de antieke atomisten maakt Descartes namelijk een onderscheid tussen primaire kwantitatieve eigenschappen (zoals vorm, grootte en aantal) en secundaire kwalitatieve eigenschappen (zoals kleur, geur, klank, smaak, warmte en tastindrukken). De primaire eigenschappen zijn nu volgens zowel de atomisten als Descartes de enige werkelijke reële eigenschappen van de materie. Wel zagen zoals gezegd de atomisten in tegenstelling tot Descartes ook ‘zwaarte’ als primair. Secundaire eigenschappen zijn daarentegen niets meer of minder dan door onze eigen geest veroorzaakte subjectieve gewaarwordingen. De secundaire eigenschappen komen dus in tegenstelling tot de primaire eigenschappen niet toe aan de materie zelf. Bij Descartes is deze conceptie van zintuiglijke waarneming echter wel netjes een onmiddellijk gevolg van zijn hierboven besproken eerste beginsel. Materie is volgens dit eerste beginsel namelijk niets anders dan mathematische uitgebreidheid. Precies daarom kan materie onmogelijk secundaire kwaliteiten zoals kleur, geur of smaak bezitten. Dit impliceert dat secundaire eigenschappen inderdaad alléén maar in onze eigen geest kunnen bestaan als zijnde kwalitatieve subjectieve indrukken. De rest van de waarnemingstheorie van Descartes dient er dan toe om mechanistisch te verklaren hoe onze subjectieve kwalitatieve indrukken worden veroorzaakt door de vele verschillende op onze zintuigen botsende materiedeeltjes.

Zo ontstaat dus bij Descartes een wereldbeeld dat radicaal afwijkt van het in zijn tijd nog altijd zeer dominante wereldbeeld van Aristoteles. Volgens het Aristotelische wereldbeeld is de kosmos bijvoorbeeld eindig en bolvormig terwijl volgens de fysica van Descartes het universum juist oneindig uitgestrekt is. Verder is de kosmos bij Aristoteles in tegenstelling tot bij Descartes niet isotroop ofwel homogeen. Aristoteles maakt namelijk een fundamenteel onderscheid tussen enerzijds de fysica van het ondermaanse en anderzijds de fysica van het bovenmaanse. Voor deze twee kosmische sferen gelden bij Aristoteles geheel verschillende fysische principes. Zo bestaat het ondermaanse uit de natuurelementen aarde, water, lucht en vuur terwijl de bovenmaanse hemellichamen uit een volstrekt ander soort vijfde element zijn opgebouwd. Ook gelden voor het ondermaanse totaal andere natuurwetten dan voor het bovenmaanse. In zijn bewegingsleer maakt Aristoteles bijvoorbeeld alléén voor de sfeer van het ondermaanse een onderscheid tussen gedwongen en natuurlijke beweging. Bovendien is de aard van de natuurlijke beweging voor het ondermaanse geheel anders dan voor het bovenmaanse. Natuurlijke beweging in het ondermaanse wordt namelijk verklaard vanuit het streven van de ondermaanse natuurelementen om naar hun zogenaamde ‘natuurlijke plaats’ terug te keren. Dit betekent voor de zwaardere elementen aarde en water een rechtlijnige beweging naar het middelpunt van de kosmos terwijl de natuurlijke beweging van de lichtere elementen lucht en vuur wordt bepaald door een rechtlijnige beweging vanaf het middelpunt van de kosmos naar de buitenste regionen van het ondermaanse. De natuurlijke beweging in het bovenmaanse betreft echter een eeuwige eenparige cirkelbeweging om het middelpunt van de kosmos. De gedachte dat er voor het ondermaanse andere fysische wetten zouden gelden als voor het bovenmaanse wordt nu door Descartes in zijn fysica volledig geëlimineerd. De natuurwetten van de Cartesiaanse fysica zijn dus algemeen geldig voor de gehele kosmos.

Verder hebben we er eerder op gewezen dat de Cartesiaanse natuurwetenschap is opgebouwd

uit slechts één enkel kwantitatief principe (namelijk geometrische uitgebreidheid) terwijl de fysica van Aristoteles wordt gekenmerkt door het bestaan van een groot aantal kwalitatieve essenties. Door nu deze wezensvormen volledig uit de fysica te weren ontstaat bij Descartes een fysica die niet langer teleologisch en animistisch van aard is. In de Cartesiaanse fysica wordt anders gezegd niet langer aangenomen dat de natuurdingen net zoals de mens allerlei neigingen en drijfveren bezitten om bepaalde doelen te bereiken. Zo wordt bijvoorbeeld beweging net zoals alle andere natuurlijke materiële verschijnselen op strikt mechanistische wijze verklaard vanuit botsingsprocessen geregeerd door mathematische botsingswetten. In zijn latere *Principia philosophiae* leidt Descartes deze strikt mechanische botsingswetten af uit zijn eerder genoemde eerste beginsel van het behoud van de totale hoeveelheid beweging.

Een interessant aspect hierbij is dat in de Cartesiaanse fysica beweging noodzakelijk relatief moet zijn ofwel alléén geldt voor deeltjes ten opzichte van elkaar. Dit is een direct gevolg van de homogeniteit en oneindigheid van de kosmos. We zien zo opnieuw een groot verschil met de Aristotelische fysica. Aristoteles ging namelijk uit van een natuurlijk middelpunt van de kosmos. Dit middelpunt levert nu feitelijk een absoluut referentiekader voor beweging omdat alle beweging steeds kan worden bekeken ten opzichte van dit middelpunt. Bij Aristoteles is alle beweging dus juist absoluut in plaats van relatief van aard.

De Cartesiaanse homogeniteit van de kosmos en de hiermee samenhangende relativiteit van beweging heeft echter nog een andere belangrijke implicatie die ook radicaal ingaat tegen het Aristotelische wereldbeeld. Volgens de ondermaanse bewegingsleer van Aristoteles is het middelpunt van de kosmos de natuurlijke plaats van het zwaarste element aarde. Hieruit volgt direct dat de aarde in het middelpunt van de kosmos moet staan. Bovendien is de aarde in absolute rust omdat in het ondermaanse alléén de rechthoekige valbeweging van of vanaf het middelpunt van de kosmos natuurlijk is zodat een eventuele rotatie van de aarde om haar as is uitgesloten. Beide conclusies worden nu door de fysica van Descartes volledig verworpen. De aarde staat niet langer in het middelpunt van de kosmos omdat zoals we zagen een dergelijk middelpunt volgens de Cartesiaanse fysica niet bestaat. Bovendien kan volgens de fysica van Descartes niet langer beweerd worden dat de aarde stilstaat. Door het ontbreken van een notie van absolute beweging kan er immers ook geen sprake zijn van een notie van absolute rust.

De Cartesiaanse radicaal mathematische en mechanistische natuurwetenschap resulteert dus inderdaad in een inclusief wereldbeeld dat volledig ingaat tegen dat van Aristoteles. Het wereldbeeld van Aristoteles lag aan het begin van de Nieuwe Tijd overigens al langer onder vuur door een opeenstapeling van allerlei met dit wereldbeeld conflicterende astronomische observaties. Vanwege de allesomvattendheid en de zeer hechte onderlinge samenhang was het systeem van Descartes echter het eerste echte daadwerkelijk serieuze alternatief voor dat van Aristoteles. Descartes levert dan ook feitelijk een ‘volledige filosofie’ zoals aangegeven in het voorwoord bij de Franse uitgave van zijn *Principia philosophiae*.

Verder is het van belang om hier op te merken dat de natuurwetenschap van Descartes leidt tot een maximale unificatie. Zo is in de externe natuur buiten de menselijke geest nog slechts sprake van één enkele kwantitatieve mathematische essentie (geometrische uitgebreidheid) in plaats van een groot aantal verschillende en onderling niet tot elkaar te herleiden kwalitatieve essenties. Hiermee wordt inderdaad een vergaande unificatie bewerkstelligd. Voorwerpen die

zich aan onze zintuigen heel verschillend voordoen blijken in wezen volstrekt gelijksoortig te zijn. Daarnaast wordt zoals gezegd het onderscheid tussen onder- en bovenmaans opgeheven omdat beide kosmische sferen uit dezelfde materie bestaan en zijn onderworpen aan precies dezelfde natuurwetten. Het aantal eerste beginselen van de fysica is verder tot een absoluut minimum beperkt. Bovendien bezitten dieren en planten geen ziel ofwel geest waardoor zij volkomen samenvallen met de materiële substantie. Hierdoor geldt binnen de Cartesiaanse natuurwetenschap niet langer een fundamenteel onderscheid tussen dierkunde, plantkunde en fysica. Het lichaam van de mens is eveneens restloos een materiële uitgebreidheid zodat het onderscheid tussen fysica en fysiologie ook onder druk komt te staan (maar toch niet volledig verdwijnt omdat volgens Descartes de menselijke geest samen met het menselijke lichaam een belangrijke rol speelt bij de tot de fysiologie behorende uiteenzetting van onze passies). Verder kan nog genoemd worden dat Descartes zoals al eerder in dit artikel besproken één eenheidsmethode voor alle wetenschappen formuleerde met een minimaal aantal grondregels.

Met zijn unificatiestreven vestigde Descartes een natuurwetenschappelijk programma dat tot aan onze tijd bepalend zou worden voor de verdere ontwikkeling van de natuurwetenschap. Vanuit dit Cartesiaanse eenheidsstreven kan de latere natuurkunde van Newton en Maxwell zelfs worden beschouwd als een teruggang ten opzichte van Descartes' fysica. In de fysica van Newton en Maxwell spelen namelijk fysische entiteiten een rol die niet herleidbaar zijn tot wiskundige concepten. Hierbij moet gedacht worden aan massa, kracht (Newton) en elektrische lading (Maxwell). Deze constatering doet echter geen recht aan de verbluffende prestaties van de Newtoniaanse fysica. Descartes' radicale mathematisering beperkte namelijk de mogelijkheden van zijn fysica enorm. In feite kunnen we ironisch genoeg stellen dat juist de radicale mathematisering van de natuur zoals we die vinden in de Cartesiaanse fysica een echt succesvolle wiskundige fysica voor een niet onbelangrijk deel juist in de weg gezeten heeft terwijl de meer gematigde opvattingen ten aanzien van het wiskundige karakter van de natuur zoals we die vinden bij Newton en Maxwell (en ook al eerder bij Kepler en Galileo) de wiskundige fysica juist ontzettend vooruitgeholpen hebben. Wanneer wij echter naar de moderne fysica van de twintigste eeuw kijken, dan is het toch opvallend dat bijvoorbeeld de algemene relativiteitstheorie van Einstein weer wat dichter in de buurt lijkt te komen van een Cartesiaanse restloos wiskundige duiding van de natuur. Zo gaat bijvoorbeeld Einstein's algemene relativiteitstheorie uit van louter wiskundige concepten zoals ruimtekromming om de werking van zwaartekracht te verklaren. Zwaartekracht is zo niet langer een fundamentele niet verder reduceerbare fysische entiteit (zoals bij Newton) maar blijkt juist op Cartesiaanse wijze herleidbaar tot wiskundige concepties. Bovendien gaat Einstein net zoals Descartes (en in tegenstelling tot Newton) uit van een relatief ofwel relationeel begrip van beweging waarbij beweging verplaatsing van objecten ten opzichte van elkaar betreft en dus niet (zoals bij Newton) absoluut moet worden begrepen.

Tot slot van deze bespreking van de beginselen van de Cartesiaanse natuurwetenschap wil ik zoals in de introductie aangekondigd ingaan op de belangrijkste gevolgen van het wereldbeeld van Descartes voor ons mensbeeld en de rol van het menselijke redevermogen. Hierbij zal ik het niet hebben over de invloed van de kosmologische stellingen van de Cartesiaanse fysica zoals de aardbeweging. Hoewel de invloed van dergelijke kosmologische stellingen op ons denken over de plaats van de mens in de kosmos nauwelijks onderschat kan worden zijn dergelijke kosmologische thesen niet specifiek voor het Cartesiaanse

wereldbeeld. Descartes sluit hier namelijk aan bij de Copernicaanse traditie welke reeds bestond vanaf de eerste helft van de zestiende eeuw en naast Copernicus zelf bijvoorbeeld ook al door Galileo uitgebreid was verdedigd hetgeen uiteindelijk leidde tot zijn veroordeling door de katholieke kerk.

In plaats daarvan kies ik hier als vertrekpunt het feit dat bij Descartes zoals vaker aangegeven de Aristotelische teleologische animistische ordening van de kosmos wordt afgewezen en wordt vervangen door een radicale mechanistische mathematische duiding van het universum. Door de eliminatie van de Aristotelische kwalitatieve wezensvormen ontstaat een volstrekt ziellose onverschillige natuur. De natuur wordt zo volledig geneutraliseerd en geobjectiveerd. Door de natuur te objectiveren als zijnde een louter mechanisch mathematisch geheel wordt ook het unieke en het radicaal andere van de menselijke geest ten opzichte van deze natuur manifest. Het menselijk denken stelt zichzelf door de objectivering van de natuur namelijk present als een los ofwel apart van deze natuur bestaande denkende substantie. De menselijke geest ofwel het menselijk subject weet zich dus als denkende substantie geplaatst tegenover een radicaal geneutraliseerde natuurlijke werkelijkheid. Hierdoor ontstaat een fundamenteel en onoverbrugbaar verschil tussen enerzijds het menselijk subject en anderzijds de buiten dit subject bestaande natuurlijke werkelijkheid. Het menselijk subject wordt dus als het ware losgemaakt van de materiële natuur omdat zij zich als enige maximaal van deze natuur onderscheidt. Hierdoor raakt het menselijk subject in zichzelf gekeerd ofwel op zichzelf gefixeerd. Met het radicale verschil tussen enerzijds het menselijk subject en anderzijds de haar omringende materiële natuur loopt Descartes in een bepaald opzicht vooruit op een soortgelijke dichotomie bij Kant. Kant maakt immers ook een strikt onderscheid tussen twee totaal verschillende domeinen ofwel rijken, namelijk het noumenale rijk van de vrijheid en het fenomenale rijk van de natuur. Het menselijk subject bevolkt bij Kant echter beide rijken.

Door ons nu als denkend subject los te maken van de externe natuur komen we zoals gezegd tegenover deze geobjectiveerde natuur te staan. Het menselijk subject breekt dus uit de natuur en is niet langer harmonisch in haar opgenomen zoals nog het geval was in het teleologische animistische wereldbeeld van Aristoteles. De mens kan zo als 'bevrijd' subject ook volledig autonoom gaan denken en zelfstandig haar doelen bepalen en navolgen. Het menselijk subject kan nu ook zelf de criteria gaan ontwerpen waaraan iets moet voldoen om te worden erkend als zekere onbetwifelbare kennis. Deze criteria betreffen zoals al is besproken het helder, duidelijk ofwel evident zijn van onze intellectuele ideeën. Uitgaande van dit criterium van zelfevidentie kan het menselijk subject zoals besproken eigenhandig vanuit haar rede de eerste beginselen van de fysica op a priori wijze afleiden. Op deze manier wordt het menselijk subject dus volstrekt onafhankelijk en strikt zelfbepalend. Vanuit deze gedachte van rationele controle kan het menselijk subject de geobjectiveerde en geneutraliseerde natuur nu ook aan haar eigen doelen gaan onderwerpen. Zo stelt Descartes in het zesde deel van zijn Discours dat wij 'heer en meester moeten worden over de natuur' door 'de natuur in dienst te stellen van elk doel waarvoor ze geschikt is'. Doordat zij op geheel autonome wijze haar doelen kan bepalen en vervolgens realiseren komt het menselijk subject eveneens in het centrum van de zingeving te staan. Bij Descartes ontstaat zo een motief van natuurbeheersing en zingeving door redegebruik. Dit motief wijst al duidelijk vooruit naar het latere vooruitgangdenken.

Genoemde natuurbeheersing is nu ook mogelijk omdat er niet langer wordt aangenomen dat er in de natuurlijke werkelijkheid een normerende orde van vaste wezensvormen ofwel statische essenties bestaat. Een dergelijke onveranderlijke uitwendige normerende orde is met het elimineren van de wezensvormen immers uit de kosmos verdwenen. Daarmee zijn dus ook alle absolute, onoverbrugbare en beperkende grenzen uit de materiële natuur verwijderd. Zo zijn bijvoorbeeld alle onaantastbare grenzen tussen de diersoorten verdwenen. Iedere materiële constellatie is immers niets meer of minder dan louter geometrische uitgebreidheid en dus veranderbaar of zelfs maakbaar. Het gevolg hiervan is dat de natuur zich aan ons niet langer meer voordoet als star en onbuigzaam. Zij wordt juist sterk plooibaar. Dit betekent dat de natuur beschouwd kan gaan worden als iets dat wij functioneel kunnen bewerken om onze (door onze rede op autonome wijze bepaalde) doelen te realiseren. Hiertoe is het menselijk subject nu ook daadwerkelijk in staat omdat de rede door het volgen van de Cartesiaanse methode zelfstandig een geschikte intramentale orde van heldere en duidelijke ideeën kan creëren om de materiële natuur naar haar hand te zetten. We zien zo dat de rede niet langer is gericht op het zoeken van aansluiting bij een reeds bestaande externe en onveranderlijke kosmische orde, maar in plaats daarvan juist op het zelfstandig produceren van een adequate mentale orde van ideeën voor het effectief onderwerpen van een geneutraliseerde en daardoor voor de mensheid beheersbaar geworden natuur.

Uiteindelijk betekent dit dat bij Descartes (net zoals later bij Kant) de menselijke rede het fundament wordt van onze menselijke waardigheid. Wij zijn als mensheid namelijk waardig vanwege onze redevermogens omdat we vanuit deze rede zowel onszelf als de buiten ons bestaande geobjectiveerde natuurlijke werkelijkheid kunnen beheersen. Overigens dienen wij onze autonome rede volgens Descartes ook aan te wenden om onze passies in de greep te houden (in plaats van te elimineren als zijnde verkeerde oordelen zoals bij de stoïcijnen).

Dit Cartesiaanse motief van een autonome, zelfvoldane ofwel zelfgenoegzame rede welke het menselijk subject bepaalt en zowel dit subject als de externe natuurlijke werkelijkheid beheerst zal een zeer belangrijke bron gaan worden voor het vooral vanaf de latere verlichting optredende atheïstische denken. Van een dergelijk ongeloof is bij Descartes echter nog geen sprake omdat zoals ik hieronder zal bespreken God een cruciale rol speelt bij de uiteindelijke fundering van de eerste beginselen van de Cartesiaanse fysica. Hoewel God geen enkele rol speelt in de natuurwetenschap is God namelijk wel onontbeerlijk voor haar uiteindelijke fundering. Hetzelfde geldt voor de Cartesiaanse moraal. Een bespreking van Descartes' op de stoïcijnen gebaseerde ethiek valt echter (net zoals zijn leer van de passies) buiten dit artikel.

### **Theologische fundering**

Descartes fundeert zoals we gezien hebben de eerste beginselen van zijn fysica op zijn aan de wiskunde ontleende waarheidsregel. Volgens Descartes' waarheidsregel is alles wat wij op volstrekt heldere en welonderscheiden wijze inzien waar. Uitgaande van deze waarheidsregel zijn de eerste beginselen van de Cartesiaanse fysica waar precies omdat ze volgens Descartes volstrekt helder en welonderscheiden door ons intellect ofwel onze rede gedacht worden.

De grondvesting van de beginselen van de Cartesiaanse fysica op genoemde waarheidsregel blijft echter onvolledig wanneer deze regel zelf niet gefundeerd wordt. In zijn metafysische hoofdwerk *Meditationes de Prima Philosophia* (Meditaties over de eerste filosofie) stelt

Descartes zichzelf daarom ten doel om zijn waarheidsregel van een volstrekt onwankelbaar fundament te voorzien en zo uiteindelijk zijn fysica definitief te verankeren. Een ruwe schets van deze metafysische fundering vinden we ook in het vierde deel van zijn eerdere Discours.

Descartes vertrekt vanuit een radicale methodische twijfel door alles waaraan theoretisch kan worden getwijfeld te verwerpen en zo ‘te ontdekken of er nog iets absoluut onbetwifelbaars overblijft’. Dit is inderdaad het geval. Het bestaan van het ego als denkende substantie is het residu dat overblijft nadat hij alle opvattingen waarin hij zich ook maar iets twijfelachtigs kon voorstellen heeft verworpen. In het vierde deel van zijn Discours merkt Descartes namelijk op dat ‘terwijl ik aldus wilde aannemen dat alles onwaar is, het noodzakelijk waar was dat ik, die dat dacht, iets was’. Bovendien onderkent Descartes tijdens zijn radicale twijfel in de eerste meditatie van zijn *Meditationes* de mogelijkheid van het bestaan van een almachtige God die hem in al zijn voorstellingen kan bedriegen: ‘Ik ga dus van de veronderstelling uit dat niet de al-goede God, de bron der waarheid, maar een of andere kwade geest, die uiterst machtig is en slim, mij met alle macht die in hem is probeert te bedriegen’. In zijn tweede meditatie concludeert Descartes echter onmiddellijk dat: ‘Zonder twijfel ben ik er dan ook, als hij mij bedriegt. En laat hij me bedriegen zoveel als hij kan; hij zal het nooit gedaan krijgen dat ik niets ben, zolang ik zal denken dat ik iets ben’. Zelfs wanneer er een ‘uiterst machtige en slimme bedrieger’ zou bestaan die hem in al zijn opvattingen bedriegt is zijn bestaan als denkend subject dus verzekerd. Deze volstrekt absolute onbetwifelbaarheid van zijn eigen bestaan als denkend subject wordt bij hem dan ook het absolute fundament van waaruit hij zijn waarheidsregel (en dus uiteindelijk zijn gehele natuurwetenschap) zal gaan funderen.

Dit verloopt vervolgens in een aantal stappen welke ik eveneens zal toelichten. Descartes stelt dat net zoals zijn eigen bestaan als denkend ding absoluut onbetwifelbaar is, het ook absoluut onbetwifelbaar is dat hij op enig moment inderdaad de geestelijke voorstellingen heeft die hij op dat moment denkt te hebben. Zo stelt Descartes in het vierde deel van zijn Discours: ‘Hoewel ik veronderstelde dat al mijn ideeën onwaar waren, kon ik toch niet ontkennen dat deze ideeën werkelijk in mijn bewustzijn aanwezig waren’. Tevens geeft hij in de tweede meditatie van zijn *Meditationes* aan dat: ‘Maar ik ben ook dezelfde die voorstellingen maakt, want ook al is het misschien zoals ik veronderstelde, namelijk dat geen enkele voorstelling waar is, dan nog bestaat het voorstellingsvermogen zelf werkelijk en maakt het deel uit van mijn denken. Ik zie namelijk licht, ik hoor geluid, ik voel warmte. Deze dingen zijn onwaar; ik slaap immers. Maar toch schijn ik te zien, te horen en warm te worden. Dit schijnen kan niet onwaar zijn’. De inhoud van onze geestelijke voorstellingen is dus evenals ons feitelijk bestaan als denkend ding absoluut onbetwifelbaar. Wij kunnen ons onmogelijk vergissen ten aanzien van zowel onze existentie als de inhoud van onze ideeën. Wanneer ik bijvoorbeeld een boom denk te zien, dan kan het bestaan van deze boom zeker betwijfeld worden. Het feit dat ik denk een boom waar te nemen is echter boven iedere theoretische twijfel verheven.

Deze stap is voor Descartes belangrijk omdat hij vervolgens constateert dat hij het idee van een volkomen volmaakt wezen bezit. Wij ervaren namelijk in onszelf een zeker gemis omdat wij aan veel dingen twijfelen. Dit betekent dat wij onszelf onvermijdelijk begrijpen als zijnde eindig en dus onvolmaakt. Wij zouden echter geen begrip van onszelf hebben als onvolmaakt wezen wanneer in ons niet al het idee van volmaaktheid ofwel perfectie ingepland zou zijn.

Zo stelt Descartes in de derde meditatie van zijn *Meditationes*: ‘Op grond waarvan zou ik immers weten dat ik twijfel, dat ik begeer, dat wil zeggen dat er iets aan mij ontbreekt en dat ik niet geheel en al volmaakt ben, als er geen idee van een volmaakter wezen in mij zou bestaan waarmee ik mijn gebreken vergelijk en zo leer kennen?’.

Het is verder volgens Descartes absoluut onbetwifelbaar dat dit in onze geest aanwezige idee van een volmaakt wezen ook een eerste oorzaak moet hebben. Deze oorzaak moet zelf ook volmaakt zijn. Een onvolmaakte oorzaak zou namelijk betekenen dat een deel van het gevolg uit niets voortkomt. Dit is ondenkbaar omdat het volgens Descartes absoluut onbetwifelbaar is dat niets uit niets kan voortkomen. Wij kunnen als onvolmaakte wezens dus niet zelf de oorzaak zijn van het in ons aanwezige idee van een volmaakt wezen. De oorzaak van dit idee moet dus buiten onszelf liggen. Zo concludeert Descartes dan ook tot het bestaan van een externe volmaakte oorzaak. Deze volmaakte buiten onszelf bestaande oorzaak wordt door Descartes nu geïdentificeerd met God. Het bestaan van God is bij Descartes dus eveneens absoluut onbetwifelbaar. Uit het bestaan van het Gods-idee volgt zo onmiddellijk het bestaan van God zelf. Wij kunnen onszelf dus alléén begrijpen als we onszelf zien in contrast met een perfectie die voorbij onze eigen menselijke vermogens ligt. Deze perfectie kunnen wij anders gezegd niet zelf geproduceerd hebben en daarom moet het van een wezen gekomen zijn die werkelijk deze perfectie bezit, ofwel God. Descartes stelt dan ook in de samenvatting van zijn *Meditationes* dat ‘het idee van God, dat in ons is, alléén God zelf als oorzaak kan hebben’. Bovendien stelt hij in het vierde deel van het *Discours* dat ‘het idee van een volmaakt wezen in mij moet zijn voortgebracht door iets dat ook werkelijk volmaakt is en dus alle volmaaktheden in zichzelf bezit, dat wil dus zeggen: God’. Descartes geeft overigens in zijn *Discours* en *Meditationes* nog een tweede aanvullend argument voor het bestaan van God dat qua structuur sterk lijkt op het middeleeuwse ontologisch Gods-bewijs van Anselmus.

Descartes rond de fundering van zijn waarheidsregel af door te betogen dat God als volmaakt wezen geen bedrieger kan zijn. In de derde meditatie van zijn *Meditationes* stelt hij namelijk dat het ‘door het natuurlijke licht van de rede duidelijk is dat elk bedrog en elke misleiding afhankelijk zijn van een zeker gebrek’. God kan ons dus niet dusdanig gevormd hebben dat wij worden bedrogen in datgene wat wij helder en welonderscheiden inzien. In de vijfde meditatie van zijn *Meditationes* concludeert Descartes dan ook: ‘Nu heb ik ingezien dat God bestaat en tegelijkertijd begrepen dat alle overige dingen van hem afhankelijk zijn en dat hij geen bedrieger is. Daaruit heb ik afgeleid dat alles wat ik op een heldere en welonderscheiden manier inzie, noodzakelijk waar is’. Descartes heeft zo zijn waarheidsregel en dus zijn fysica uiteindelijk gefundeerd op het absoluut onbetwifelbare bestaan van een volmaakte God. Wel wordt God bij Descartes op deze wijze gereduceerd tot een transcendente instantie die slechts verzekert dat onze heldere en welonderscheiden gedachten (zoals de eerste beginselen van de fysica) waar zijn, zonder binnen deze fysica ook daadwerkelijk een actieve rol te spelen.

Zoals in de introductie aangegeven wordt vaak beweerd dat Descartes met de hier beschreven funderingspoging van zijn waarheidsregel verstrikt raakt is een cirkelredenering. Om zijn waarheidsregel af te leiden moet hij immers aantonen dat God bestaat. Voor het laten zien dat God bestaat moet hij echter gebruikmaken van bepaalde premissen waarvan we de waarheid niet kunnen aannemen zolang de waarheidsregel zelf nog niet afgeleid is. Er lijkt hier dan ook sprake van een volstrekt ontoelaatbare funderingspoging. Aan het slot gekomen van dit artikel is het niet mijn bedoeling om deze kritiek te weerleggen. Het betreft hier namelijk



uitstekende en terechte kritiek. Iedere poging om een bepaalde waarheidsregel te bewijzen lijkt inderdaad noodzakelijk circulair en daarmee ontoelaatbaar.

Wat ik tenslotte wel wil doen is laten zien dat er een bepaalde reconstructie van Descartes' metafysische funderingspoging denkbaar is welke enigszins tegemoet komt aan het bezwaar van circulariteit zonder dus dit bezwaar volledig weg te nemen. Er zijn overigens veel andere bezwaren te bedenken tegen Descartes' funderingspoging. Zo wees Hume er bijvoorbeeld in het tweede hoofdstuk (getiteld 'over de oorsprong der ideeën') van zijn *An Enquiry concerning Human Understanding* reeds op dat het helemaal niet absoluut onbetwifelbaar is dat het in ons aanwezige Godsidee door God moet zijn veroorzaakt omdat wij dit idee ook zelf kunnen produceren door de mentale verstandsoperatie van 'vergroting'. Ik pretendeer zeker niet dat ik met genoemde reconstructie tegemoet kom aan al deze overige bezwaren. De hieronder geschetste reconstructie richt zich dus uitsluitend op het bezwaar van circulariteit.

We krijgen zicht op genoemde reconstructie door ons allereerst te realiseren dat Descartes in zijn *Regulae* aan de wiskunde een andere status lijkt toe te kennen dan in zijn *Discours* en *Meditationes*. In de *Regulae* stelt Descartes immers zoals we al eerder zagen dat alléén de objecten van de wiskunde volstrekt helder en onbetwifelbaar zijn. In het *Discours* en in de *Meditationes* blijkt echter tijdens zijn radicale theoretische twijfelexperiment dat ook aan de meest eenvoudige wiskundige oordelen kan worden getwijfeld. Zo stelt Descartes in het vierde gedeelte van zijn *Discours* dat 'sommigen zich vergissen bij het redeneren, zelfs als het gaat om de meest eenvoudige meetkundige problemen en denkfouten maken en omdat ik meende dat ook ik mij net zo goed kon vergissen, verwierp ik - als onwaar - alle redeneringen die ik daarvoor als geldige bewijzen had beschouwd'. Eveneens stelt Descartes in de eerste meditatie van zijn *Meditationes* vast dat 'anderen zich soms vergissen in wat ze heel precies menen te weten. Maar dan kan ik ook bedrogen worden, iedere keer als ik twee en drie bij elkaar optel, of de kanten van een vierkant'. Bovendien geeft hij in de derde meditatie van zijn *Meditationes* aan dat: 'Wanneer ik in de algebra of de meetkunde iets heel eenvoudigs en gemakkelijks bekeek, bijvoorbeeld dat twee plus drie tezamen vijf zijn, of iets dergelijks, zag ik dat dan niet duidelijk genoeg in om te kunnen bevestigen dat het waar is? Inderdaad heb ik later over zulke dingen geoordeeld dat ze in twijfel getrokken moesten worden en wel om geen andere reden dan dat het toen in mijn geest opkwam dat een of andere God mij wellicht zo'n natuur had kunnen schenken, dat ik juist in die dingen word misleid die het meest onmiskkenbaar lijken'.

Betekent dit nu dat Descartes zichzelf tegenspreekt omdat hij in de *Regulae* de wiskunde als onbetwifelbaar positioneert terwijl in het *Discours* en in de *Meditationes* ook de wiskunde tot het betwifelbare wordt gerekend? Op het eerste gezicht lijkt dit inderdaad het geval. Toch is deze constatering volgens mij juist de sleutel om te komen tot genoemde reconstructie. Nu zou een antwoord kunnen luiden dat het denken van Descartes blijkbaar een ontwikkeling heeft doorgemaakt ofwel dat hij in zijn vroegere onvoltooide *Regulae* eenvoudigweg anders tegen de wiskunde aankeek dan in zijn latere wel voltooide *Discours* en *Meditationes*. Dit lijkt mij echter niet het juiste spoor. Het denken van de vroegere en latere Descartes moet zoals eerder besproken juist begrepen worden als een hecht samenhangende integrale eenheid.

Descartes lijkt eerder een onderscheid te willen maken tussen enerzijds heldere en duidelijke

(ofwel transparante en welonderscheiden) intellectuele inzichten en anderzijds intellectuele inzichten die niet alléén helder en duidelijk zijn, maar daarnaast ook bestand zijn tegen iedere vorm van radicale theoretische (ofwel absolute metafysische) twijfel. Tot de eerste categorie kunnen volgens deze mogelijke reconstructie alle mathematische oordelen gerekend worden zoals het oordeel dat de hoeken van een driehoek samen  $180^\circ$  zijn of dat de som van 5 en 7 gelijk is aan 12. Tot de tweede categorie moeten in ieder geval de inzichten gerekend worden die nodig zijn voor zijn Godsbewijs. Deze voor het Godsbewijs van Descartes noodzakelijke inzichten (zoals het bestaan van het ‘ego cogito’, de onvolmaaktheid van dit twijfelende ‘ego cogito’, het bestaan van een volmaakt Godsidee in dit onvolmaakte ‘ego cogito’ en het inzicht dat dit volmaakte idee ook een volmaakte oorzaak moet hebben) zijn hierboven al besproken.

Het verschil tussen beide categorieën inzichten is uiteraard moeilijk exact aan te geven. Dit is voor de reconstructie echter niet strikt nodig. Het is voldoende om erop te wijzen dat een dergelijk onderscheid impliciet in het denken van Descartes aanwezig lijkt te zijn. Wel dient dit onderscheid nader gearticuleerd te worden. De absoluut onbetwifelbare inzichten van de tweede categorie kunnen bijvoorbeeld gekarakteriseerd worden als volstrekt alternatiefloos. Hiermee bedoel ik dat dergelijke intellectuele inzichten de eigenschap hebben dat hun negatie voor onze geest niet eens coherent denkbaar is. Zo is bijvoorbeeld de negatie van ons bestaan als denkend subject volgens Descartes onmogelijk coherent denkbaar. Het inzicht dat wij bestaan als denkend subject is dus niet louter helder en duidelijk (zoals de inzichten van de eerste categorie) maar is zelfs de enige coherent denkbare mogelijkheid waarin wij ons dan ook absoluut niet kunnen vergissen. Hetzelfde geldt voor het bestaan van onze mentale voorstellingen ofwel het inzicht dat wij inderdaad de mentale voorstellingen bezitten die we op enig moment denken te bezitten. Het is immers onmogelijk om coherent te denken dat we niet de mentale voorstelling zouden hebben die we op een bepaald moment denken te hebben. De eerder genoemde claim dat ik een gewaarwording van een boom heb wanneer ik een boom denk waar te nemen is bij Descartes dus een inzicht van de tweede categorie. Het is absoluut onmogelijk dat we ons hierin zouden vergissen. De absoluut onbetwifelbare inzichten van de tweede categorie kunnen dus naast alternatiefloos ook gekarakteriseerd worden als zijnde niet corrigeerbaar. Wij kunnen ons onmogelijk in deze inzichten vergissen omdat hun negatie niet eens coherent gedacht kan worden. De absoluut onbetwifelbare inzichten van de tweede categorie (zoals bijvoorbeeld ook de gedachte dat ieder gevolg een oorzaak moet hebben en dat niets uit niets kan voortkomen) fungeren zelfs als mogelijksvoorwaarden voor ons denken überhaupt. Alternatieven voor deze inzichten zijn voor onze rede immers zoals gezegd volstrekt ondenkbaar. Acceptatie van deze inzichten is dus niet alleen onvermijdelijk, maar ook vereist omdat zonder deze acceptatie ons denken ernstig zou worden belemmerd.

Dit is een belangrijk verschil met de inzichten van de eerste categorie die weliswaar helder en welonderscheiden zijn, maar waarvoor in eerste instantie toch denkbare alternatieven bestaan. Zo is het oordeel dat de som van de hoeken van een driehoek groter of kleiner is dan  $180^\circ$  weliswaar onwaar (in een Euclidische context), maar daarom op voorhand voor onze geest nog niet totaal ondenkbaar. Voor de prima facie heldere en duidelijke inzichten van de eerste categorie geldt dus niet dat hun negatie al bij voorbaat voor onze rede totaal ondenkbaar is.

Het is hier niet de bedoeling om te beweren dat dit epistemologische onderscheid tussen twee

typen intellectuele inzichten op zichzelf genomen valide is. Het gaat er alléén om te laten zien dat uitgaande van dit onderscheid tegemoet gekomen kan worden aan het bezwaar van circulariteit. De waarheidsregel volgens welke heldere en duidelijke inzichten waar zijn is bij Descartes namelijk alléén nodig om de waarheid vast te stellen van de heldere en duidelijke inzichten van de eerste categorie. De premissen van het Godsbewijs betreffen echter inzichten van de tweede categorie. Zij zijn immers niet alléén helder en duidelijk, maar ook absoluut metafysisch onbetwifelbaar. Deze premissen vereisen voor hun waarheid dus géén beroep op genoemde waarheidsregel. Nu volgt de waarheidsregel zoals we gezien hebben rechtstreeks uit het bestaan van God. De afleiding van de waarheidsregel is dus gebaseerd op precies dezelfde premissen als het Godsbewijs. Dit betekent dat de afleiding van de waarheidsregel evenmin is gebaseerd op premissen die voor hun waarheid een beroep op deze regel vereisen. Zo lijkt inderdaad een cirkel in Descartes' fundering van zijn waarheidsregel vermeden. Het onderscheiden van twee categorieën van zekerheid levert dus een reconstructie van Descartes' funderingspoging op die inderdaad enigszins tegemoet komt aan het bezwaar van circulariteit.

Zowel in zijn eerdere *Regulae* als in zijn latere *Discours* en *Meditationes* worden wiskundige inzichten dus als zeker beschouwd. Wiskundige zekerheid moet bij Descartes echter begrepen worden tegen de achtergrond van specifieke metafysische inzichten die nog zekerder zijn.

### **Literatuurlijst**

- [1] De uitgelezen Descartes, ingeleid en toegelicht door H. van Ruller, Lannoo/Boom, 1999
- [2] Descartes, R., *Regulae ad Directionem Ingenii*, Rules for the direction of the mind, regel 1-12
- [3] Descartes, R., *The Principles of Philosophy*, including the preface to the French edition, translated by John Veitch, LL. D., eBooks
- [4] Jong, W.R. de, Betti, A., *The Aristotelian Model of Science: A Millennia-Old Model of Scientific Rationality*, forthcoming in *Synthese*, 2007
- [5] Rijk, L.M. de, *De rol van de taal in het empirisme van Aristoteles*, Amsterdam, Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen, 2004
- [6] Glas, E., *Mathematisering van natuur, techniek en samenleving*, Garant, Leuven/Apeldoorn, 1991
- [7] Bonjour, L., *Epistemology: Classic Problems and Contemporary Responses*, Lanham: Rowman & Littlefield, 2002
- [8] Boudri, Caspers, Cohen, *Grote denkers uit het verleden van de wetenschap*, Reader, Universiteit Twente, Faculteit der wijsbegeerte en maatschappijwetenschappen, 1992
- [9] Störig, H.J., *Geschiedenis van de filosofie*, Spectrum, Utrecht, 2005