

Galilei en de Dialogo

De wetenschappelijke discussie over Galilei nader bekeken

Vincent van Goethem

24-1-2014

Inhoudsopgave

Inleiding	2
Deel I: Galilei en de <i>Dialogo</i>	3
Deel II: De wetenschappelijke discussie	10
Conclusie	21
Ten slotte	23
Literatuur	25

Inleiding

Geschiedschrijving is een normatieve discipline. Om verder dan een beschrijving van gebeurtenissen te komen, is het immers noodzakelijk om oordelen te vellen over het belang en de gevolgen van die gebeurtenissen. Geschiedschrijving bewijst voornamelijk haar waarde wanneer er verschillende visies bestaan over een bepaalde historische gebeurtenis of stand van zaken. Een goed voorbeeld hiervan is het debat over de Wetenschappelijke Revolutie. Het gebruik van de term 'revolutie' is niet geheel onomstreden, maar wordt hier desalniettemin toch gebruikt omdat de ontwikkelingen op het gebied van kennis over de natuur en werking van de aarde en het heelal die in de zestiende en zeventiende eeuw plaatsvonden, achteraf van doorslaggevend belang bleken voor de moderne notie van natuurwetenschap. Er is veel onderzoek gedaan naar hoe de Wetenschappelijke Revolutie is verlopen en welke inzichten, ontdekkingen en personen daarin een belangrijke rol hebben gespeeld. Het bestaan van verschillende ideeën en theorieën over deze periode maakt het historisch debat over deze tijdsperiode tot een interessant onderwerp voor onderzoek.

In dit paper wordt het debat over de historische oorsprong van de moderne natuurwetenschap weergegeven op basis van vier boeken. Dit betreft de boeken van de historici Cohen, Vermij, Henry, McClellan & Dorn.¹ Dit gebeurt door een brontekst uit de zeventiende eeuw als uitgangspunt te nemen en na te gaan hoe dat werk terugkomt in de bredere historische context en verschillende kaders die de vier auteurs schetsen. Die brontekst is het in 1632 door Galileo Galilei gepubliceerde standaardwerk de *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo tolemaico e copernicano* (hierna: *Dialogo*).² Voor de bestudering van de *Dialogo* heb ik gebruik gemaakt van de Nederlandse vertaling van Hans van den Berg uit 2012.

Het onderzoek is gesplitst in drie fasen. Allereerst wordt het werk van Galilei geïntroduceerd door middel van een beschrijving van de hoofdzaken van de *Dialogo*. Deze inhoudelijke beschrijving van de *Dialogo* levert een aantal thema's op die de leidraad vormen voor de vergelijking van de vier boeken in het tweede deel van dit onderzoek. In het tweede deel worden eerst de visies op het ontstaan van de moderne wetenschap zoals geboden in de vier boeken uiteengezet. Daarop volgt een vergelijking van die boeken waar de hoofdzaken uit de *Dialogo* in alle vier de visies telkens onderwerp van de vergelijking zijn. Op die manier worden twee dingen aangetoond. Ten eerste welke methode en interpretatiewijze de auteurs hebben gebruikt bij het duiden van de

¹ Cohen, Floris. *De herschepping van de wereld het ontstaan van de moderne natuurwetenschap verklaard* (Amsterdam 2007); Henry, John. *The Scientific Revolution and the Origins of Modern Science* (Basingstoke 2008); McClellan, James en Dorn, Harold. *Science and Technology in World History: an introduction* (Baltimore 2006); Vermij, Rienk, *Kleine geschiedenis van de wetenschap* (Amsterdam 2006).

² Galileo Galilei, *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo tolemaico e copernicano*, vertaald door Hans van den Berg in *Dialogo over de twee voornaamste wereldsystemen* (Amsterdam 2012)

Wetenschappelijke Revolutie en welke verschillen en overeenkomsten er zijn. Ten tweede welk belang de auteurs toedichten aan de bijdrage van Galilei en de *Dialogo* aan het ontstaan van de moderne natuurwetenschap.

Ten derde wordt afgesloten met een korte uiteenzetting over geschiedwetenschap. Daarbij wordt ingegaan op de vraag of het in geschiedwetenschap onoverkomelijk is dat er verschillende interpretaties van historische gebeurtenissen (blijven) bestaan en wat dat betekent voor geschiedschrijving als wetenschap.

Deel I: Galilei en de *Dialogo*

Galileo Galilei

In de voor dit onderzoek gebruikte literatuur wordt hetzelfde beeld geschetst van het leven van Galileo Galilei (1564-1642) voorafgaand aan de publicatie van de *Dialogo*. Hij was in 1589 in Pisa hoogleraar wiskunde geworden nadat de studie geneeskunde niets voor hem bleek te zijn. Niet lang daarna werd hij werkzaam aan de universiteit van Padua en daar kregen zijn ideeën over beweging, onder andere besproken in de *Dialogo*, voor het eerst vorm. Achttien jaar later trad Galilei in dienst aan het hof van de Groothertog van Toscane als wiskundige én filosoof, een combinatie die daarvoor nog niet bestond.³ Galilei was al sinds zijn hoogleraarschap bezig met het verschijnsel van beweging te doorgronden. De uitvinding van de verrekijker in 1608 bood hem nieuwe observatiemogelijkheden met betrekking tot de bewegingspatronen van planeten. Zijn observaties brachten nieuwe inzichten en gedachten met betrekking tot het fenomeen 'beweging'.⁴

De waarnemingen die Galilei met de verrekijker had gedaan zette hem ertoe openlijk de opvatting van de tweevoudige draaiing van de aarde te verdedigen. Op zich was deze opvatting van Galilei niet nieuw. Al eerder was hij overtuigd geraakt door de heliocentrische hypothese die Nicolaus Copernicus uiteen had gezet in *De revolutionibus orbium coelestium*, gepubliceerd in 1543. Die opvatting is echter slechts kenbaar uit correspondentie die Galilei onderhield met Johannes Kepler. Tot die tijd was Galilei voornemens zijn opvattingen voor zichzelf te houden. Het waren zijn eigen waarnemingen die hem er toe brachten deze visie op de beweging van de aarde niet alleen openbaar te maken, maar ook tegen aanvallen te verdedigen⁵. De openlijke verdediging van het heliocentrische wereldsysteem die Galilei in 1613 aanving duurde tot zijn veroordeling in 1616 door

³ Floris Cohen, 'Voorwoord' in Hans van den Berg, *Dialogo over de twee voornaamste wereldsystemen* (Amsterdam 2012) 12.

⁴ Cohen, 'Voorwoord', 11.

⁵ Ibidem, 12.

paus Paulus V vanwege de ketterij die dit wereldsysteem impliceerde. Het gevolg van de veroordeling was dat het Galilei verboden werd openlijk het Copernicaanse wereldbeeld te verkondigen. Pas toen de nieuwe paus Urbanus VIII aantrad hervatte Galilei zijn werk en dat zou in 1632 uiteindelijk resulteren in het in Italiaans geschreven boek: de *Dialogo*.

Vanwege de opgelegde restricties van 1616 heeft Galilei het boek zo geschreven dat het de indruk wekt onpartijdig beide wereldsystemen te bespreken en de eventuele argumenten voor en tegen de systemen nader te verklaren en te ontkrachten dan wel bevestigen. Op die manier zou hij er niet van kunnen worden beschuldigd het Copernicaanse wereldbeeld daadwerkelijk te verkondigen. De schijn van objectiviteit bleek niet voldoende want de paus gaf na de publicatie in 1632 een onderzoekscommissie de opdracht te oordelen of Galilei zich aan de afspraken had gehouden met de *Dialogo* en de commissie kwam tot de conclusie dat dat niet het geval was. Wat volgde was dat het boek op de index kwam (de lijst van verboden boeken) en Galilei werd veroordeeld tot huisarrest en kreeg een verbod op publicatie in Italië.

In de *Dialogo* zet Galilei de tegenstelling uiteen tussen de op dat moment twee voornaamste wereldsystemen. Enerzijds het door de christelijke kerk gesteunde *Aristotelische systeem* waarin de aarde het onbeweeglijke middelpunt van het heelal wordt toegewezen en anderzijds het *Copernicaanse systeem* waarin de toentertijd omstreden notie van een bewegende aarde die om de zon als middelpunt bewoog werd verdedigd. Men spreekt kort gezegd wel van de tegenstelling tussen het geocentrische wereldbeeld en het heliocentrische wereldbeeld. De *Dialogo* heeft de vorm van een gesprek dat zich in vier dagen afspeelt tussen drie mannen, de intelligente leek Sagredo, de aanhanger van het Aristotelische wereldsysteem Simplicio (die niet zonder bijbedoeling deze spottende naam draagt) en de vertolking van Galilei die in het boek Salviati heet. De bedoeling van de mannen is om zo nauwkeurig mogelijk de twee wereldsystemen te verklaren en nagaan of er beslissende fouten in een van de systemen zitten. De personages bespreken iedere dag een thema dat verband houdt met de aannemelijkheid van ieder wereldsysteem. Aangezien de systemen elkaars waarheid uitsluiten is het zaak een sluitend bewijs te vinden dat het ene systeem als waar aanwijst en het andere daarmee automatisch als onwaar. Deze thema's zijn het afbreken van de scheiding van de ondermaanse en bovenmaanse sfeer die centraal in het Aristotelische wereldsysteem staat, de dagelijkse aswenteling van de aarde, de jaarlijkse draaiing van de aarde om de zon en tot slot het bewijs van beide draaiingen dat volgens Galilei het verschijnsel van eb en vloed is.

De behandeling van de genoemde thema's vindt plaats op twee niveaus. Het eerste niveau betreft de directe aanpak van de problemen die zich tijdens het gesprek voordoen. De problemen worden besproken op de ogenschijnlijke objectieve wijze. Salviati probeert in discussie met Simplicio en Sagredo de filosofische argumenten van de aanhangers van Aristoteles, de peripatetici, op hun waarheid te testen. Daarnaast probeert hij met experimentele waarnemingen en wiskundige

bewijzen het heliocentrische wereldsysteem te bewijzen en onderzoeken de drie gesprekspartners de legitimiteit van die argumenten. Het tweede niveau hangt daar boven en op dat niveau maken Salviati en Sagredo opmerkingen over hoe volgens hen natuuronderzoek gedaan moet worden en wat er aan de methode van de peripatetici schort. Die opmerkingen worden vaker herhaald en hebben niet alleen betrekking op de besproken onderwerpen maar geven de visie van Galilei op natuuronderzoek weer. Het zijn de uitspraken op dat niveau waaruit de hoofdzaken van de *Dialogo* af te leiden zijn. Uit de inhoudelijke bespreking van de *Dialogo* hieronder komen de volgende hoofdzaken naar voren: de nieuwe visie op de werking van de wereld⁶, de samenvoeging van wiskunde en filosofie en het eigenhandig onderzoek in plaats van vertrouwen op autoritaire teksten.

De wereldsystemen

In het Aristotelisch denken is doelverwezenlijking de belangrijkste oorzaak voor verandering en beweging.⁷ In verandering van lichamen op aarde ziet Aristoteles de manier om het natuurlijke doel van die dingen te bereiken. De verschillende vormen van verandering zijn het ontstaan en vergaan van lichamen, verandering van hoeveelheid, de verandering van hoedanigheid en de verandering van plaats.⁸ Beweging is de verandering van plaats en is dus ook een vorm van doelverwezenlijking: dat wil zeggen dat alle beweging gericht is op het natuurlijke doel of plaats van datgene wat beweegt. Volgens de Aristotelische leer is de rechte beweging de enige natuurlijke beweging die de aardse elementen kunnen uitvoeren. Daar tegenover staat de natuurlijke cirkelbeweging rond een middelpunt die alleen in de bovenmaanse sfeer plaatsvindt.⁹ De scheiding van het ondermaanse en bovenmaanse komt er op neer dat de aarde die bestaat uit de vier elementen vuur, water, aarde en lucht absoluut los staat van het hemelgewelf die uit de hemelse substantie bestaat en volmaakt en onvergankelijk is.¹⁰ De aardse elementen zijn daarentegen vergankelijk en imperfect. De aardse elementen vuur en lucht zijn lichte elementen en hebben de natuurlijke neiging in rechte lijnen naar boven te bewegen terwijl aarde en water zware elementen zijn en altijd de neiging hebben in een rechte lijn naar beneden bewegen. Zodoende hopen de elementen aarde en water zich in het middelpunt van de wereld op en stijgen de lichte elementen op weg van het middelpunt. Tegengesteld aan de rechte beweging van de aardse elementen is de volmaakte cirkelbeweging rondom het middelpunt die de planeten volbrengen.

Op de eerste dag van de *Dialogo* gaat het de gesprekspartners erom na te gaan welke

⁶ Galilei gebruikt het begrip 'wereld' ter omschrijving van de hele kosmos.

⁷ Floris Cohen, *Herscheping van de wereld: het ontstaan van de moderne natuurwetenschap verklaard* (Amsterdam 2007) 24.

⁸ Floris Cohen, *Herscheping van de wereld*, 33.

⁹ Galileo Galilei, *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo tolemaico e copernicano*, vertaald door Hans van den Berg in *Dialogo over de twee voornaamste wereldsystemen* (Amsterdam 2012) 43.

¹⁰ Galilei, *Dialogo*, 35.

opvatting het meest waarschijnlijk en redelijk is. Salviati merkt op dat het Aristotelische systeem een constructie is die op de werkelijkheid wordt gelegd en pas daarna wordt gezocht naar verschijnselen die de constructie bevestigen, terwijl die verschijnselen niet een ander wereldsysteem noodzakelijk uitsluiten.¹¹ De filosofische argumentaties van de peripatetici worden afgezet tegen de experimentele waarnemingen van de maan en bijbehorende wiskundige bewijzen. Simplicio begint met een uiteenzetting van het Aristotelisch argumentatieplan ter verklaring van de substantiële tweedeling van het boven- en ondermaanse dat gebaseerd is op de driedimensionaliteit van de wereld. Salviati wijst erop dat het bewijs van Aristoteles niet goed genoeg is omdat het een onlogische gevolgtrekking maakt om de volmaaktheid en macht van het getal drie te bewijzen. Met een retorische truc zou Aristoteles het bewijs als sluitend presenteren terwijl het dat in feite niet is.¹² Ter vervanging van het filosofische bewijs komt Salviati met een geometrisch bewijs dat wiskundig en sluitend bewijst dat er niet meer dan drie dimensies bestaan. Hetzelfde gebeurt als Salviati en Sagredo erop wijzen dat Aristoteles in zijn bewijs dat de aarde het middelpunt van het heelal is, hetgeen hij wilt bewijzen als gegeven aanneemt.¹³

Salviati breekt deze scheiding af met als doel de aarde letterlijk in de hemel te plaatsen tussen de andere hemellichamen en geeft daarbij de argumenten tegen een onveranderlijke perfecte hemel die de natuurlijke tegenhanger zou zijn van de vergankelijke imperfecte aarde.¹⁴ Met het loskoppelen van de ondermaanse sfeer met de bovenmaanse wijst Salviati zijn gespreksgenoten erop dat de aarde geen bevoorrechte positie in het heelal heeft en dat er dus geen natuurlijke hiërarchie bestaat maar dat het heelal volgens wiskundige regels is opgebouwd. Door experimenten met een bolvormige spiegel, een platte spiegel en een muur waarop zonlicht schijnt, laat Salviati op experimentele wijze zien dat de maan niet volmaakt glad kan zijn, omdat hij anders niet zichtbaar zou zijn. Om een lichaam waar te kunnen nemen dat zonlicht reflecteert moet dat lichaam een ruw ongelijk oppervlak hebben.¹⁵ De maan moet verder bolvormig zijn omdat een bolvormig oppervlak lichtstralen naar alle kanten reflecteert terwijl een plat oppervlak maar in een punt het licht reflecteert, vandaar dat een platte reflecterende spiegel maar op een punt licht is terwijl de rest van het oppervlak donker blijft. De maan is daarentegen egaal verlicht hetgeen bewijst dat de maan geen volmaakt glad oppervlak heeft.¹⁶

Op de tweede dag wordt de waarschijnlijkheid van een stilstaande aarde vergeleken met de waarschijnlijkheid van een draaiende aarde. Daarvoor worden de waarneembare verschijnselen

¹¹ Ibidem, 45.

¹² Ibidem, 39.

¹³ Ibidem, 73.

¹⁴ Ibidem, 76.

¹⁵ Ibidem, 123.

¹⁶ Ibidem, 125.

onderzocht, die voor beide opvattingen een bewijs zouden zijn. Salviati behandelt vragen en opmerkingen van Sagredo en Simplicio vaker in ondervragende vorm. Door simpele vragen te stellen over normale ervaringen van Sagredo en Simplicio en de antwoorden te combineren en logisch te beredeneren laat hij zien dat datgene wat hij duidelijk wilt maken, eigenlijk al bekend was bij zijn gesprekspartners. Op die manier toont hij aan dat Simplicio vasthoudt aan standpunten die niet overeenkomen met zijn eigen ervaringen. Een goed voorbeeld hiervan is het bezwaar dat aangedragen wordt door de peripatetici over het ronddraaien van de aarde. Dat zou met een dergelijk grote snelheid moeten gebeuren dat mensen en gebouwen van de aardbol afgeslingerd zouden worden. Salviati betoogt echter dat dat niet gebeurt omdat alle lichamen op aarde meedoen in de ronddraaiende beweging en hier niets van merken. Om Simplicio hiervan te overtuigen draagt Salviati het voorbeeld aan van een schip waar men zich onder het dek bevindt. Of het schip stil ligt of juist op zee snel voortbeweegt, maakt niet uit voor beweging die plaatsvindt in het ruim onder het dek. Die zal precies hetzelfde zijn omdat de ruimte waarin de beweging plaatsvindt in zijn totaliteit aan de beweging van het schip meedoet en er dus niets van merkt. Mits het schip eenparig voortbeweegt is voor de mensen onder het dek niet waar te nemen of het schip beweegt of niet.¹⁷ Salviati laat het echter niet alleen bij een vergelijking om aan te tonen dat het bezwaar niet klopt, maar levert vervolgens een wiskundig bewijs dat wegslingering onmogelijk is op een ronddraaiende aarde.¹⁸ De neiging om weg te slingeren wordt namelijk ongedaan gemaakt door de neiging naar beneden te bewegen die lichamen eigen is. Salviati weerlegt deze dag nog veel meer bezwaren van peripatetici en wijst telkens op de onwetendheid en vooringenomen standpunten waar die bezwaren op stoelen.

Op de derde dag wordt de Copernicaanse indeling van de planeten door Salviati gepresenteerd.¹⁹ Dat doet hij samen met Simplicio aan de hand van verschijningsvormen van de planeten. In een schematische tekening positioneert Simplicio, door beantwoording van Salviati's vragen, de zon en de aarde en daar tussenin Mercurius en Venus. Achter de aarde komen dan Mars, Jupiter en tot slot de buitenste sfeer van Saturnus. Uit de verschijnselen blijkt noodzakelijk dat alle planeten een beweging hebben rondom de zon. Salviati laat dat Simplicio zelf stapsgewijs beredeneren en komt dan tot de conclusie dat in het systeem opgetekend door Simplicio de zon, de aarde en vaste sterren nog geen beweging zijn toebedeeld. De vraag die dan nog rest is welke beweegt en welke stilstaat.²⁰ Het lijkt Salviati veel aannemelijker de aarde ronddraaiende bewegingen toe te kennen dan de zon, omdat die beweging van de aarde gemakkelijk in het systeem in te passen is terwijl een stilstaande aarde extra bewegingen tot gevolg heeft voor alle planeten en

¹⁷ Ibidem, 279-280.

¹⁸ Ibidem, 294.

¹⁹ Ibidem, 460.

²⁰ Ibidem, 265.

de zon en de vaste sterren. Het intellect van Copernicus wordt hier door Salviati ook geroemd omdat de zintuiglijke waarneming deze indeling tegenspreekt maar de rede hem juist bevestigt. Met de telescopische waarnemingen van Galilei blijkt dat het door het verstand bedachte systeem van Copernicus klopt. Om tegen de zintuiglijke waarneming in toch aan de rede vast te houden getuigt van enorm intellect.²¹ Een belangrijke passage volgt over de beweegredenen van Copernicus om het nieuwe systeem op te stellen. Galilei schrijft hier kernachtig over de samensmelting van wiskunde en natuurfilosofie en de nieuwe rol die de sterrenkunde krijgt in de zestiende eeuw. Copernicus had Ptolemaeus' aannames over de planeten gebruikt en verbeterd om voor elke planeet afzonderlijk berekeningen te maken die in overstemming waren met de verschijnselen. Maar toen hij het door hem berekende planetensysteem samenvoegde bleek het geheel "een hersenschim, samengesteld uit ledematen die ten opzichte van elkaar in wanverhouding stonden en geheel onverenigbaar waren."²² In plaats van genoeg te nemen met de correcte berekeningen op basis van losstaande verschijnselen zoals een zuiver sterrenkundige zou doen, stond de filosoof Copernicus op om de fouten in het systeem weg te halen. Door vanaf toen opnieuw een systeem te construeren en met andere aannames dan Ptolemaeus te werken kwam hij tot een harmonieus geheel zonder onhoudbare aannames om wanverhoudingen mee te verhullen.²³

De meetkunde die Salviati gebruikt om zijn woordelijke bewijzen nogmaals aan te tonen in figuren wordt door peripatetici afwezen omdat het goed filosoferen in de weg staat.²⁴ Salviati reageert daarop door te zeggen dat meetkunde juist het middel is om de filosofie te ontdoen van drogredenen. Retorische constructies zijn soms zo verfijnd dat de fouten erin maar moeilijk te ontwaren zijn maar de meetkunde laat geen onjuistheden toe.

Op de vierde en laatste dag bespreekt Salviati het verschijnsel van eb en vloed en poneert om te beginnen de stelling dat eb en vloed niet kan plaatsvinden op een stilstaande aarde.²⁵ De dagelijkse en jaarlijkse draaiing van de aarde zijn de oorzaken van eb en vloed en zorgen tevens ook voor de onregelmatigheid van eb en vloed. Omdat de dagelijkse draaiing twee delen van de dag meedraait met de jaarlijkse draaiing ontstaat daar een versnelde beweging van de aardglobe terwijl de aarde twee andere delen van de dag tegen de jaarlijkse draaiing indraait, dan vindt dus een vertraagde beweging plaats.²⁶ Salviati noemt de aarde het bassin waarin het zeewater zich bevindt en trekt uit zijn bewijsvoering de conclusie dat eb en vloed zich alleen kunnen voordoen als het bassin die bewegingen maakt, die overeenstemmen met de bewegingen die het Copernicaanse

²¹ Ibidem, 482.

²² Ibidem, 484.

²³ Ibidem, 485.

²⁴ Ibidem, 559.

²⁵ Ibidem, 585.

²⁶ Ibidem, 599.

systeem aan de wereld toedicht.

De *Dialogo* sluit af met de conclusie van Simplicio dat hij ondanks de vernuftigheid van het betoog van Salviati nog steeds niet overtuigd is van de draaiing van aarde en wel omdat het menselijk intellect eeuwig te kort schiet om Gods werk te doorgronden en God de wereld ook heel anders in had kunnen richten en dat daarom niet de noodzakelijkheid van het Copernicaanse systeem is bewezen.²⁷ Galilei was door de paus verplicht dit argument te verwerken in zijn boek. Het werd echter als een grove belediging ervaren toen bleek dat Galilei Simplicio dit argument liet aandragen en daarmee de indruk wekte dat deze opmerking net zo min steek hield als al het andere dat hij in de voorafgaande dagen had gezegd.

Onderdelen van de nieuwe visie op de werking van de wereld worden dus per dag besproken en aan de hand van wis- en meetkundige bewijzen onderbouwd. De derde hoofdzaak, namelijk het afbrokkelen van de autoriteit van teksten van andere geleerden en het gezag van zelfstandig onderzoek zonder vooringenomen standpunt, is de boodschap die door het hele boek heen wordt gegeven. De hieronder beschreven passages zijn daar treffende voorbeelden van. Zo wijst Sagredo erop dat het Aristotelische systeem voor iedere geleerde de uitgangspositie was voor natuurkennis en het gezag dat die kennis had leidde tot een laksheid onder de aanhangers van dat systeem. De aanhangers van het Copernicaanse systeem zijn zeer goed op de hoogte van de standpunten en theorieën van de peripatetici terwijl daar andersom geen sprake van is. De peripatetici schrijven het Copernicaanse systeem dus al bij voorbaat af zonder zich erin te verdiepen.²⁸ Salviati komt er dan ook meermaals op terug dat het zomaar overnemen van geschriften over de natuur die een beroep doen op de autoriteit van Aristoteles niet de juiste manier is de waarheid te vinden. Verder benadrukt Salviati verschillende keren dat redenaarskunst geen waarde of legitieme grond heeft in de natuurwetenschap die onafhankelijk is van menselijke wil. Conclusies in natuurkennis zijn waar én noodzakelijk.²⁹

Simplicio geeft aan dat het volledige corpus van Aristoteles' werk moet worden gezien als een samenhangend geheel en dat uit die verschillende teksten bewijzen kunnen worden gehaald voor zaken waar die betreffende tekst niet over hoeft te gaan.³⁰ Salviati brengt daar tegenin dat Aristoteles op die manier wordt misbruikt door zijn volgelingen. Zij degraderen hem tot iemand die alleen wil vasthouden aan het bekende terwijl Salviati ervan overtuigd is dat wanneer Aristoteles zelf geconfronteerd zou worden met de nieuw opgedane kennis en waarnemingen, hij het daar direct

²⁷ Ibidem, 648.

²⁸ Ibidem, 199.

²⁹ Ibidem, 98.

³⁰ Ibidem, 171.

mee eens zou zijn en zijn eigen ideeën zou aanpassen.³¹ De derde dag is wat stelligheid betreft de belangrijkste. Het Copernicaanse systeem wordt in haar volledigheid gepresenteerd en tot dusver succesvol verdedigd tegen de bezwaren van de peripatetici. Tot slot moet het enige aardse verschijnsel dat een stilstaande aarde uitsluit nog worden gepresenteerd maar de derde dag plaatst de eerste twee dagen in het perspectief van een samenhangend systeem.

Deel II: De wetenschappelijke discussie

De discussie over de betekenis van de Wetenschappelijke Revolutie zoals die hier geschetst wordt, concentreert zich enkel op het boek de *Dialogo* en de betekenis daarvan binnen het grotere geheel van de ontwikkelingen op het gebied van kennis over de natuur en de werking van de wereld. Het is echter eerst nodig om duidelijkheid te verschaffen over hoe de vier auteurs het ontstaan van de moderne wetenschap in zijn totaliteit zien. Hieronder wordt dus eerst van alle vier de boeken uiteengezet wat volgens hun de ontwikkelingen waren waaruit moderne natuurwetenschap kon ontstaan, hoe die ontwikkelingen tot stand kwamen en waarom dat revolutionair was. Daarna volgt de vergelijking als ware het een discussie tussen de auteurs over hoofdzaken van Galilei's *Dialogo*. Elk van de vier auteurs plaatst de *Dialogo* anders of gedeeltelijk anders in de historische context van de zeventiende eeuw en de wetenschappelijk revolutie.

De vier visies

Cohen heeft met zijn boek *De herschepping van de wereld* uit 2007 het doel de ontwikkeling van natuurkennis vanuit het Klassieke Griekenland tot en met de zeventiende eeuw te laten zien en daarbij een verklaring aan te dragen voor het feit dat dat in Europa gebeurde.³² De kernbegrippen in zijn betoog zijn verborgen ontwikkelingspotentieel, culturele transplantatie van natuurkennis en transformatie van natuurkennis en hij hanteert een vergelijkende methode. Een belangrijk onderscheid dat Cohen maakt betreft de verschillende vormen van natuurkennis. Hij onderscheidt de Atheense vorm van natuurkennis van de Alexandrijnse vorm op basis van de verschillende kennisstructuren.³³ De Atheense kennisstructuur is een geheel gebaseerd op eerste beginselen om daarmee de wereld woordelijk oftewel kwalitatief te verklaren, de Alexandrijnse kennisstructuur is daarentegen niet op de alledaagse realiteit gericht maar is abstracter en maakt gebruik van wiskunde. Die scheiding is van enorm belang in Cohen's betoog omdat het uiteindelijk samenvoegen van de losse vormen van natuurkennis in zijn visie de totstandkoming van de moderne natuurkennis

³¹ Ibidem, 174.

³² Cohen, *Herschepping van de wereld*, 12.

³³ Ibidem, 30.

behelst.³⁴

Het ontwikkelingspotentieel van de Griekse natuurkennis uit de 6^{de} eeuw v.Chr. blijkt volgens Cohen ten eerste uit de vergelijking met de Chinese natuurkennis uit dezelfde periode, omdat de Chinese kennis tot haar uiterste grenzen wordt verkend maar niet verdere mogelijkheden biedt tot vernieuwing.³⁵ Daarom blijft China vastzitten in dezelfde kennisstructuur van dat natuurdenken. Daarnaast komt het Chinese denken over de natuur niet in aanraking met andere culturen en die isolatie zorgt ervoor dat het wereldbeeld niet aangetast wordt van buitenaf. De potentie van de Griekse natuurkennis blijkt bovendien uit de culturele transplantaties die het ondergaat in eerst de Islambeschaving in de 8^{ste} eeuw, daarna in Middeleeuws Europa in de 11^{de} eeuw en daarna nogmaals in Renaissance Europa in de 14^{de} eeuw.³⁶ Het is echter wel zo dat in de eerste twee transplantaties de kennisstructuur hetzelfde blijft en de bestaande kennis alleen wordt verdiept of verbreedt. Vandaar dat Cohen een soortgelijk verloop ziet in de transplantaties, namelijk die van bloei gevolgd door een Gulden Tijdperk met een zeer steile neergang tot slot. Het is in de derde transplantatie waar blijkt dat het ontwikkelingspotentieel van de Griekse natuurkennis nog steeds niet volledig is verkend omdat dan de transformaties volgen. Voordat de transformaties plaatsvinden is er eerst al een nieuwe vorm van natuurkennis ontstaan namelijk die van empirische waarneming. Het feit dat deze nieuwe vorm van kennis dan ontstaat geeft aan dat er voorzichtig buiten de oude bekende kennisstructuren wordt gedacht.

Dat naar buiten treden gebeurt pas volledig wanneer er geleerden opstaan die de kennisstructuur van de oude kennis dusdanig veranderen waardoor er nieuwe denksystemen ontstaan. Dat gebeurt door de transformaties die Athene, Alexandrië en de nieuwe derde vorm ondergaan. Op dit punt in zijn betoog zijn alle kernbegrippen geïntroduceerd en 'in werking gebracht'. De eerste drie transformaties die Cohen ziet gebeuren zijn de transformaties van de losse vormen van natuurkennis, te weten natuurfilosofie (Athene) gedaan door Beeckman en Descartes, wiskunde (Alexandrië) gedaan door Kepler en Galilei en de nieuwe derde vorm van natuurkennis: van waarneming naar het opsporend experiment, gedaan door Bacon, Gilbert, Harvey en Van Helmont. De natuurfilosofie transformeert omdat het autoritaire Aristotelische wereldsysteem afbrokkelt en een essentieel nieuw systeem wordt aangedragen door Descartes. De wiskunde wordt nauwer op de realiteit toegespitst om met de wiskunde dingen in de natuur te verklaren. Daarnaast breidt het aantal onderwerpen waar wiskundig wat over gezegd kan worden enorm uit, hoofdzakelijk dankzij Galilei. De empirische waarneming verandert doordat geleerden de natuur met experimenten gaan dwingen verschijnselen te laten zien om zo uitspraken over de natuur te doen.

³⁴ Ibidem, 225.

³⁵ Ibidem, 51.

³⁶ Ibidem, 60-61.

Cohen stelt dat in de tweede helft van de 17de eeuw er nog drie transformaties plaatsvinden. De eerste (vierde dus in de telling van Cohen) waar natuurfilosofie van deeltjes-in-beweging met klem gekoppeld wordt aan de wiskunde, gedaan door Huygens en Newton.³⁷ De tweede waar natuurfilosofie van deeltjes-in-beweging met klem gekoppeld wordt aan het opsporend experiment, gedaan door Boyle, Hooke en Newton.³⁸ En tot slot nog de afrondende transformatie waar de eerdere transformaties samen worden gevoegd; dat doet alleen Newton. Newton bewerkstelligt dat beweringen puur op basis van rede niet meer voldoende zijn om als waar te worden aangenomen. Wiskundige berekeningen en experimentele toetsingen moeten de waarheid van die beweringen bewijzen voordat ze als waar worden geaccepteerd.³⁹

Naast deze intellectuele ontwikkelingen noemt Cohen ook nog andere omstandigheden die maakten dat de ontwikkelingen in Europa konden plaatsvinden. Hij schrijft dat in de periode na Galilei en Descartes de natuurkennis zich in een legitimiteitscrisis bevindt.⁴⁰ De ontdekkingen en ideeën brachten twijfel met zich mee over wat die nieuwe kennis zou betekenen voor de autoriteit van de christelijke leer. Daarnaast bleef materieel gewin uit natuurkennis vooralsnog uit. De wereldbeschouwelijke consequenties van natuurkennis werden op het spits gedreven in navolging van de verdeeldheid die in Europa heerste. Het zijn de oplossingen voor deze moeilijke periode die Europa uiteindelijk de geschikte plaats maken voor de Wetenschappelijke Revolutie. Cohen noemt de verzoeningsmentaliteit die in Europa heerste na de Vrede van Westfalen in 1648 als belangrijke sfeer waardoor de religieuze spanning op het continent afneemt.⁴¹ Een ander belangrijke ontwikkeling die Cohen noemt is de effectieve loskoppeling van levensbeschouwing en natuurkennis door de kennisgenootschappen in London en Parijs.⁴² Die loskoppeling kon tot stand komen dankzij het hardnekkige geloof van materieel nut van natuurkennis. Hoewel dat praktische nut lange tijd uitbleef was het geloof in natuurkennis toch sterk dankzij datgene wat Cohen de Baconiaanse Ideologie noemt.⁴³ Deze breed aangehangen ideologie hield in dat het doen van natuuronderzoek iets goeds was in de christelijk-religieuze zin van het woord en dat die kennis ook daadwerkelijk tot gewin ofwel macht kon leiden.

Vermij geeft in zijn boek *Kleine geschiedenis van de wetenschap* een beeld van hoe de moderne natuurwetenschap is ontstaan en doet dat net zoals Cohen op basis van hoofdzakelijk intellectuele ontwikkelingen. De kern van zijn betoog is de verschuiving van een Aristotelisch-Galenisch

³⁷ Ibidem, 228.

³⁸ Ibidem, 236.

³⁹ Ibidem, 260.

⁴⁰ Ibidem, 167.

⁴¹ Ibidem, 176.

⁴² Ibidem, 180.

⁴³ Ibidem, 184.

wereldbeeld naar een mechanisch wereldbeeld. Hij noemt dit de verandering van de filosofische vooronderstellingen die men had over de natuur.⁴⁴ Het betoog bestaat uit drie delen. Eerst beschrijft Vermij het Aristotelisch-Galenisch wereldbeeld. Het klassieke wereldbeeld zoals Aristoteles dat in de oudheid had bedacht wordt in de middeleeuwen met het christelijke geloof verzoend en leidt tot een dominant wereldbeeld dat in Europa heerst. In het tweede deel legt Vermij het verval van dat wereldbeeld vanaf de zestiende eeuw uit en tot slot wordt in het derde deel de totstandkoming van het nieuwe wereldbeeld nader verklaard in het derde deel.

Vermij ziet de zestiende eeuw als een periode van onbewuste voorbereiding op een nieuw wereldbeeld omdat hij intellectuele activiteit ziet die wijst op de afbraak van het oude wereldbeeld.⁴⁵ Geleerden begonnen met het formuleren van nieuwe inzichten en theorieën over de natuur die niet strookten met het bestaande wereldbeeld. Oorzaken voor het zoeken naar andere verklaringenmodellen dan dat gegeven door het Aristotelisch-Galenisch wereldbeeld zijn volgens Vermij echter complex en onduidelijk.⁴⁶ Vervolgens geeft hij wel aan dat de ontdekkingsreizen en de boekdrukkunst ontwikkelingen zijn die belangrijk waren voor het doen van kritisch onderzoek, maar ontwikkelingen van intellectuele aard zijn belangrijker in Vermij's betoog. Hij draagt het humanisme en neoplatonisme aan als belangrijke stromingen die zorgen voor een kritische houding ten opzichte van middeleeuws-Aristotelische wijsbegeerte.⁴⁷ Onder invloed van deze stromingen komen nieuwe studies voort die voor de bestudering van de natuur van belang zijn namelijk de natuurlijke historie, wiskunde, sterrenkunde en natuurfilosofie. In elk van deze studies vinden ontwikkelingen plaats die volgens Vermij samen het verval van het Aristotelisch-Galenisch wereldbeeld verklaren.

In de natuurlijke historie werd door geleerden zelf empirisch onderzoek gedaan ter wille van feitenkennis. Dat leidde tot een besef dat de klassieke teksten kritisch vergeleken konden en mochten worden met datgene wat zij zelf waarnamen in de natuur.⁴⁸ In de zestiende eeuw wordt de wiskunde op steeds meer vakgebieden toegepast en daardoor ontstond het idee van universele toepasbaarheid van wiskunde.⁴⁹ Het wordt echter dan nog niet gebruikt in onderzoek naar de natuur en Vermij geeft daar als belangrijkste redenen voor dat de markt voor praktische wiskunde te aantrekkelijk was. Daarnaast waren theoretische beschouwingen niet datgene waar de patroonheren van hofwiskundigen op zaten te wachten. Zij wilden vernuftigheden die wonderbaarlijk en indrukwekkend waren. Deze spelerei aan het hof stond systematisch wiskundig onderzoek van de

⁴⁴ Rienk Vermij, *Kleine geschiedenis van de wetenschap* (Amsterdam 2006) 7.

⁴⁵ Vermij, *Kleine geschiedenis van de wetenschap*, 32.

⁴⁶ Ibidem, 32.

⁴⁷ Ibidem, 41.

⁴⁸ Ibidem, 39.

⁴⁹ Ibidem, 49.

natuur in de weg.⁵⁰ De bloei van sterrenkunde als specifieke tak van wiskunde was een gevolg van de grote waarde die vorsten aan astrologie hechtten. In de humanistische traditie gingen sterrenkundigen zelf de hemel observeren en hun vondsten kritisch vergelijken met de klassieke teksten van Ptolemaeus.⁵¹ De twijfel aan de juistheid van Ptolemaeus was een gevolg van het werk van geleerden zoals Copernicus, Tycho Brahe en Kepler. Deze geleerden deden nieuwe uitspraken over hoe het heelal is opgebouwd en zij betraden daarmee voorzichtig het terrein van de natuurfilosofie.⁵² De inzichten verworven door deze nieuwe studies waren moeizaam in overeenstemming te brengen met het traditionele wereldbeeld, maar geen van alle geleerden die zich hier mee bezighielden bracht het tot een hervorming van het Aristotelische wereldbeeld. De filosofische implicaties van de nieuwe ontdekkingen werden krampachtig in het oude wereldbeeld verwerkt. Vermij geeft als verklaring daarvoor het tot nog toe ontbreken van een vaste grondslag die voor een volledige hervorming nodig was.⁵³

In het derde deel worden de waarnemingen die Galilei maakt van de hemel met de telescoop door Vermij geïntroduceerd als doorslaggevende ontdekkingen die een dergelijke grondslag kunnen zijn voor een hervormd mechanisch wereldbeeld. Descartes bedenkt dat wereldbeeld waar uniformiteit en orde in de vorm van natuurwetten centraal staan. De nieuwe grondbeginselen van Descartes waren volledig anders dan die van het Aristotelisch wereldbeeld: De wereld is volgens Descartes in wiskundige orde opgebouwd, bestaande uit één materie en de wereld werkt in vaste wetmatigheden. Daarnaast gaat Descartes uit van een uitsluitend causale werking van de natuur. Er bestaat geen doelgerichtheid.⁵⁴ Volgens Vermij neemt Descartes met dit wereldbeeld de twijfels en onzekerheden weg opgeworpen in de zestiende eeuw door de nieuwe inzichten en voltrekt daarmee de overgang naar een nieuw wereldbeeld. Isaac Newton werkt het cartesische wereldbeeld wel nog uit en verbetert het op onhoudbare punten maar de grondbeginselen blijven onomstotelijk de basis voor moderne natuurwetenschap.⁵⁵ Vermij ziet René Descartes hierin dus als hoofdpersoon. Voor Vermij is de overgang van het christelijke Aristotelische-Galenische wereldbeeld naar het cartesische wereldbeeld datgene wat revolutionair was in de zeventiende eeuw.

Henry betoogt met zijn historiografische boek *The Scientific Revolution and the Origins of Modern Science* dat de Wetenschappelijke Revolutie het gevolg is van de bredere sociale en intellectuele ontwikkelingen van het humanisme en de Renaissance.⁵⁶ Net zoals Vermij noemt Henry het

⁵⁰ Ibidem, 50.

⁵¹ Ibidem, 53.

⁵² Ibidem, 58.

⁵³ Ibidem, 64.

⁵⁴ Ibidem, 78.

⁵⁵ Ibidem, 100.

⁵⁶ John Henry, *The Scientific Revolution and the Origins of Modern Science* (Basingstoke 2008) 12.

vervangen van het Aristotelisch wereldbeeld door de mechanische filosofie als meest concrete verandering teweeggebracht in de Wetenschappelijke Revolutie.⁵⁷ Henry stelt dat moderne wetenschap tot stand kwam in de Wetenschappelijke Revolutie en dat daarvoor niet valt te spreken van wetenschap in de moderne zin van het woord. De zaken die toen samensmolten waren als losse dingen dus niet wetenschappelijk te noemen. Hij noemt natuurfilosofie, een reeks technische activiteiten zoals mechanica, optica en muziek en een reeks praktische kunsten zoals navigatie, vestingbouw.⁵⁸ De samensmelting van deze zaken ziet Henry in de toepassing van wiskunde in natuuronderzoek, de overtuiging dat empirische observaties ware kennis verschafften en de overtuiging dat natuurkennis praktisch nut had en noemt deze drie zaken als belangrijkste facetten van de Wetenschappelijke Revolutie.⁵⁹

De oorzaken van deze veranderingen zijn volgens Henry de humanistische traditie en de sociaal-culturele, politieke en economische context die positief veranderde voor de status van de experimentele en wiskundige methode. De humanistische traditie veroorzaakte een wantrouwen en kritische houding ten opzichte van uitspraken die zich beroepen op autoriteit van de klassieke auteurs. Dankzij ontdekkingen van andere klassieke teksten dan die van Aristoteles nam de autoriteit van Aristoteles af.⁶⁰ Vanwege het groeiende aantal ambachten waar wiskunde praktisch nut had steeg de status van de wiskundige. Door technologische ontwikkelingen werd de wiskundige vaardigheid steeds meer op waarde geschat en werden wiskundigen ook steeds vaker werkzaam op het hof van vorsten.⁶¹ Henry wijst hierbij op het feit dat wiskundigen nu ook de titel filosoof konden krijgen, zoals Galilei die titel krijgt van de Medici familie in Toscane en noemt dit als voorbeeld van de stijgende sociale status van de wiskundige. In het medische ambacht werd door empirische ontdekkingen, zoals die van Vesalius die de klassieke teksten tegenspraken, het experiment en de observatie waardevoller en als betere kennisbron dan de klassieke teksten gezien.⁶² De natuurlijke magie is volgens Henry een ander element dat heeft bijgedragen aan de ontwikkeling van het experiment. Net zoals de empirische anatomieer in het medische ambacht de praktische benadering van het experiment waardevoller maakte, had de natuurlijke magie ook een praktisch element.⁶³ Door de natuurlijke magie op te splitsen in enerzijds de occulte kant en anderzijds de praktische empirische kant, werd magie bruikbaar voor natuurfilosofisch onderzoek.

Henry stelt dus dat het mechanisch wereldbeeld de definitieve breuk was met de oude 'niet-wetenschappelijke' geleerdheid en dat de nieuwe wetenschappelijke methode gebaseerd was op

⁵⁷ Henry, *The Scientific Revolution*, 69.

⁵⁸ Ibidem, 5.

⁵⁹ Ibidem, 17.

⁶⁰ Ibidem, 14.

⁶¹ Ibidem, 26.

⁶² Ibidem, 41.

⁶³ Ibidem, 57.

mathematisering van natuuronderzoek en het samenkomen van technische en praktische kunsten die experimenteel en empirisch van aard zijn.⁶⁴

In het boek *Science and Technology in World History* beschrijven McClellan & Dorn de ontwikkeling van wetenschap enerzijds en technologie anderzijds vanaf de prehistorie en doen dat niet alleen voor West-Europa, maar voor alle werelddelen. Op die manier willen de auteurs laten zien dat er een herkenbaar patroon te herkennen is in hoe de eerste beschavingen (In Egypte, Mesopotamië, Meso-Amerika en India) allemaal los van elkaar dezelfde ontwikkelingen doormaakten.⁶⁵ De sleutelontwikkeling voor al deze beschavingen zijn de kunstmatige hydraulische irrigatiesystemen die een intensieve landbouw konden realiseren.⁶⁶ Het hoofddoel van dit boek is aantonen dat wetenschap en technologie twee historisch losstaande fenomenen zijn en dat ze zowel intellectueel als sociaal ook verschillende ontwikkelingen hebben doorlopen.⁶⁷ McClellan & Dorn gebruiken de term technologie voor alle door de mens gemaakte instrumenten om de leefomgeving beter te controleren en beïnvloeden. Een abstracte vorm van kennis die hoofdzakelijk theoretisch is wordt wetenschap genoemd.

McClellan & Dorn stellen dat de beschavingen van de Islamitische wereld, China, India en Meso-Amerika en India hun wetenschappelijke cultuur en kennis institutionaliseerden en de ontwikkeling van wetenschappelijke kennis aanspoorden met patronage. Op die manier konden zij de complexe sociale, politieke en economische aspecten van hun samenlevingen beheren en dienen.⁶⁸ Dat centrale bestuur bestond vanwege de noodzaak van irrigatiesystemen die door de staat aangestuurd moesten worden. De wetenschap had dus het praktische doel van staatsbestuur en de ontwikkeling van hydraulische technologie was de reden voor een gecentraliseerde staat. In Europa bestond dat rond het jaar 1000 nog niet. De technologische innovaties van de landbouwrevolutie, de militaire ontwikkelingen en het gebruik van wind en water veranderde Europa van een achterloper ten opzichte van de andere grote beschavingen in de voorloper als geurbaniseerd politiek en economisch ver ontwikkeld werelddeel.⁶⁹ De ontwikkeling van de ploeg en het drieslagstelsel resulteren in een grote groei de Europese bevolking en urbanisatie is daarvan een gevolg. De nieuwe militaire technologie zoals het buskruit veranderde de politieke context van Europa. Staten werden groter en de bureaucratie complexer. Zodoende ontstond staatspatronage aan wetenschappers met een materieel doel, namelijk technologie ontwikkelen die tot financieel gewin kon leiden voor de

⁶⁴ Ibidem, 111.

⁶⁵ James McClellan en Harold Dorn, *Science and Technology in World History: an introduction* (Baltimore 2006) 33.

⁶⁶ McClellan en Dorn, *Science and Technology*, 32.

⁶⁷ Ibidem, 2.

⁶⁸ Ibidem, 172.

⁶⁹ Ibidem, 178.

staat.⁷⁰ Door overlevering van klassieke teksten na de val van de stad Toledo in 1085 maakte Europa een wetenschappelijke bloei mee waarin de teksten worden vertaald en verspreid.⁷¹ De belangrijkste ontwikkeling is waarschijnlijk het verzoenen van Aristoteles met het christelijke geloof dat leidt tot het dominante wereldbeeld in de middeleeuwen.⁷²

Het Europa van de Renaissance kent dus veel technologische ontwikkelingen en er ontstaat een vruchtbare bodem waar wetenschap in kan gedijen maar waar grote ontwikkelingen uitblijven tot de zestiende eeuw. De technologie van de drukpers is van doorslaggevend belang voor de wetenschappelijke bloei. Samen met de humanistische traditie die een hernieuwde interesse voor de klassieke teksten aanwakkert zorgt de drukpers ervoor dat ‘verborgen’ kennis zoals die van Archimedes weer beschikbaar wordt.⁷³ De combinatie van ontwikkelingen op het gebied van astronomie, mechanica en de occulte wetenschappen magie, alchemie en astrologie en de opkomst van nieuwe wetenschappelijke methoden maakt de Europese wetenschap vervolgens definitief klaar voor de zeventiende eeuw.⁷⁴ De protestantse reformatie is een andere belangrijke sociale factor voor het veranderen van de wetenschap. Door de reformatie wordt de autoriteit van de katholieke kerk in twijfel getrokken en brengt theologische consequenties voor de wetenschappelijke ontwikkelingen.⁷⁵ Net zoals Vermij en Henry stellen McClellan & Dorn dat het vervallen van het Aristotelische wereldbeeld datgene is wat de ontwikkelingen op wetenschappelijk gebied in de zestiende en zeventiende eeuw revolutionair maakt.⁷⁶

De Wetenschappelijke Revolutie begint volgens de auteurs met de introductie van het heliocentrisme door Copernicus in 1543, maar zij benadrukken wel dat de *Revolutionibus* gepubliceerd door Copernicus geen omslagpunt in de transformatie van Europese wetenschap betreft.⁷⁷ Galilei, Descartes en Newton zijn de andere geleerden die daarna worden behandeld om de Wetenschappelijke Revolutie te verklaren. Copernicus wordt door de auteurs als ambivalent omschreven omdat hij als conservatieve sterrenkundige het doel had het ptolemeïsche systeem te corrigeren en dat in lijn wilde doen met zijn voorgangers. Toch was zijn werk vernieuwend omdat de aanname van heliocentrisme grote gevolgen had voor het oude wereldsysteem en geleerden zoals Tycho Brahe, Kepler wel de ambitie hadden het los te weken uit de oude traditie en met waarnemingen de meetkundige hypothesen te onderbouwen.⁷⁸ Het belang van Galilei wordt

⁷⁰ Ibidem, 200.

⁷¹ Ibidem, 184.

⁷² Ibidem, 187.

⁷³ Ibidem, 205.

⁷⁴ Ibidem, 204.

⁷⁵ Ibidem, 208.

⁷⁶ Ibidem, 203.

⁷⁷ Ibidem, 214.

⁷⁸ Ibidem, 214.

vervolgens verklaard door zijn publieke campagne voor het heliocentrisme. De *Dialogo* en *Discorsi* worden door de auteurs behandeld als invloedrijke werken omdat daarmee in tegenstelling tot Copernicus wel het traditionele systeem wordt verlaten en nieuwe methoden worden aangereikt. Descartes krijgt geen eigen hoofdstuk van McClellan & Dorn maar ook zij, net zoals Henry en Vermij, stellen dat Descartes de eerste was die een compleet alternatief bood op het Aristotelische systeem.⁷⁹ Door het werk van Kepler, Brahe en Galilei wordt er niet meer getwijfeld aan de methode die Descartes hanteert. De enige vraag die nog overblijft is of Descartes gelijk had.⁸⁰

Isaac Newton wordt als laatste revolutiefiguur behandeld en in hem zien de auteurs de eerste moderne natuurwetenschapper. De *Principia* en *Opticks* zetten de standaard voor de wetenschap die volgt en zijn formulering van zwaartekracht en de natuurwetten bezegelen het lot van wetenschap definitief. De verhouding tussen technologie en wetenschap in de Wetenschappelijke Revolutie is volgens McClellan & Dorn hechter dan voorheen, maar de technologische ontwikkelingen die de wetenschappelijke bloei mogelijk maken zijn zonder wetenschappelijke invloed tot stand gekomen.⁸¹

De vergelijking

Nu gehanteerde methoden en de historische context zoals geschetst door de vier boeken duidelijk zijn, is het tijd om de rol van Galilei en de *Dialogo* daarin verder uit te lichten. Daarna zullen de verschillende visies uit de boeken op de hoofdzaken uit de *Dialogo* naast elkaar worden gelegd. Cohen positioneert Galilei en de *Dialogo* heel bewust; hij maakt Galilei hoofdpersoon in de transformatie van de klassieke wiskundige Alexandrijnse natuurkennis.⁸² Om aan te tonen dat Galilei die rol terecht aangewezen wordt, laat Cohen zien wat Galilei bereikt heeft en hoe dat op zichzelf waarlijk nieuw was ten opzichte van wat voor zijn tijd gangbare kennis was.⁸³ Galilei wilde wiskunde nauwer op de realiteit laten aansluiten om daarmee grip te krijgen op het probleem van valversnelling en beweging. Hij ontwikkelde een nieuw idee over beweging dat volledig ingaat tegen onze dagelijkse waarneming en zag in dat wiskunde de sleutel tot het begrijpen van dat idee is.⁸⁴ Cohen stelt dat Galilei met de *Dialogo* een onderscheid maakt tussen drie werkelijkheidsniveaus. Het direct waarneembare niveau van alledag, het ideale niveau zonder enige belemmeringen en het experimentele niveau waarin de ideale situatie zo goed als dat gaat wordt benaderd.⁸⁵ In de *Dialogo* verklaart en bewijst Galilei beweging in de wereld van hemellichamen en de aarde door telkens naar

⁷⁹ Ibidem, 245.

⁸⁰ Ibidem, 245.

⁸¹ Ibidem, 266.

⁸² Cohen, *Herscheping van de wereld*, 110.

⁸³ Ibidem, 112.

⁸⁴ Ibidem, 116.

⁸⁵ Ibidem, 117.

het ideale niveau te verwijzen.⁸⁶ Het tussenniveau is dus van cruciaal belang voor Galilei omdat daar, door middel van het experiment, wordt geprobeerd het waarneembare niveau samen te laten vallen met het ideale niveau, om zo tot valide conclusies te komen.

Waar Cohen vooral de nadruk op legt in zijn boek is hoe het werk van Galilei zich verhoudt tot dat van zijn directe voorgangers die zich bezig hielden met beweging en de werking van de natuur.⁸⁷ Cohen rechtvaardigt de term 'transformatie' die hij gebruikt voor het werk van Galilei omdat het de Alexandrijnse natuurkennis in de diepte en de breedte verandert. Door de wiskunde nauwer op de realiteit te betrekken kon hij in de alledaagse werkelijkheid wiskundige wetmatigheden ontdekken.⁸⁸ Daarnaast breidde Galilei met zijn onderzoek naar de verschillende vormen van beweging het onderzoeksveld voor de wiskunde natuurfilosofie enorm uit.⁸⁹ Ook onder tijdgenoten bestond het besef dat Galilei samen met Kepler grondige vernieuwingen aanbracht in de wijze van natuuronderzoek en ook dat is een indicatie dat er sprake is van een echte transformatie. Galilei aanschouwde de wereld als onontdekt en dacht dus niet meer zoals zijn voorgangers in een al reeds ingerichte wereld.⁹⁰

Vermij noemt Galilei vanwege het grote aandeel dat zijn werk over de positie van planeten krijgt bij Descartes, want volgens Vermij is het vooral Descartes die de Revolutie behelst. De rol van Galilei is hierin dus dat hij met een campagne die zich in heel Europa verspreidde, het geocentrische wereldbeeld verkondigde en daarmee als een belangrijke pilaar gezien kan worden in het cartesische wereldbeeld. Vermij presenteert Galilei als directe tegenstander van het totaal verklarende Aristotelische wereldsysteem en als iemand die de wereld als een mechanische constructie beschouwde die op wiskundige wijze kenbaar is.⁹¹ "Zodoende deed Galilei de contouren van een nieuwe wereldvisie verschijnen."⁹² Vermij plaatst Galilei verder nadrukkelijk in de experimentele traditie door te wijzen op de toepassing van instrumenten om kunstmatig verworven verschijnselen te bestuderen.

Vermij stelt dat de loskoppeling die Galilei aanbrengt in natuurkennis en de filosofische en wereldbeschouwelijke gevolgen een zeer belangrijke en invloedrijke vernieuwing was voor de zeventiende eeuw en dat daar de kracht in schuilde om vrij van vooropgezette ideeën experimenten te doen en wiskundig tot de waarheid te komen. Tegelijkertijd bleek dit een zwakte van de werkwijze van Galilei omdat de wereldbeschouwelijke en religieuze aspecten voor de aanhangers van het

⁸⁶ Ibidem, 118.

⁸⁷ Ibidem, 121.

⁸⁸ Ibidem, 122.

⁸⁹ Ibidem, 122.

⁹⁰ Ibidem, 130.

⁹¹ Vermij, *Kleine geschiedenis*, 68.

⁹² Ibidem, 73.

Aristotelische systeem wel heel belangrijk waren.⁹³ Die tegenstellingen waren de aanleiding voor het conflict tussen Galilei en de katholieke kerk.

Vermij noemt de *Dialogo* niet, maar heeft het wanneer hij de invloed van Galilei bespreekt *de facto* wel over datgene wat Galilei met de *Dialogo* teweegbracht en op welke manier de inhoud van het boek vernieuwend was. Het past volgens Vermij in de trend die al halverwege de zestiende eeuw was ingezet van verval van de autoriteit van het Aristotelische wereldbeeld. Die trend verklaart tevens waarom Galilei zonder heel verstrekkende gevolgen zijn opvattingen over natuurkennis kon verspreiden. Er bestond een acceptatie voor nieuwe inzichten die een eeuw eerder nog niet denkbaar was.⁹⁴ Vermij ziet de hele zestiende eeuw als een aanzet waarin veel denkers vervanging aanbieden voor het Aristotelisch wereldbeeld en dat pas vanaf 1600 Galilei en niet veel later Descartes de Revolutie ontketenen en realiseren. Hij noemt Galilei vanwege het grote aandeel dat zijn werk over de positie van planeten krijgt bij Descartes, want het is eigenlijk Descartes die de Revolutie behelst.

In Henry's boek krijgt de *Dialogo* en vooral het conflict met de kerk dat erop volgde een problematische rol omdat Henry in zijn boek de stelling verdedigt dat er geen sprake is van een noodzakelijk negatieve relatie tussen religie en wetenschap.⁹⁵ Hij stelt dan ook dat de vervolging van Galilei niet zozeer het gevolg was van de tegenstellingen tussen wetenschap en religie, maar dat de specifieke omstandigheden de oorzaak waren dat beide tegenover elkaar kwamen te staan. Met die specifieke omstandigheden doelt Henry hoofdzakelijk op de standvastigheid van Galilei om het Copernicaanse wereldsysteem te verkondigen. Henry is overtuigd dat religie en wetenschap juist goed samengaan en voor vruchtbare grond zorgen omdat vrijwel alle belangrijke personen uit de Wetenschappelijke Revolutie zeer nadrukkelijk hun religieuze overtuiging en motivaties kenbaar maakten.⁹⁶

In het grote overzichtswerk *Science and Technology in World History* van McClellan & Dorn start de wetenschappelijke revolutie met Copernicus die tegen de heersende denkbeelden van Aristoteles en Ptolemaeus zijn theorie over het heliocentrisme introduceert. Het is echter Galilei die volgens de McClellan & Dorn het heliocentrisme tot algemeen gedachtegoed maakt met het publiceren van de *Dialogo*. Zij stellen verder dat de *Dialogo* als pamflet voor de erkenning van intellectuele vrijheid gezien moet worden en dat dat het boek zo waardevol maakt.⁹⁷ De totstandkoming van de *Dialogo* wordt geplaatst tegen de religieus-politieke achtergrond waarmee Galilei te maken had. Het was zijn

⁹³ Ibidem, 74.

⁹⁴ Ibidem, 71.

⁹⁵ Henry, *The Scientific Revolution*, 85.

⁹⁶ Ibidem, 86.

⁹⁷ McClellan en Dorn, *Science and Technology*, 223.

doel baan te breken voor het Copernicaanse wereldsysteem en zijn boek was het gevolg van een jarenlange campagne. Het laatste boek van Galilei, *Discorsi e Dimostrazioni Matematiche, intorno a due nuove scienze* uit 1638 gaat over vallende lichamen en beweging en dit werk wordt door de McClellan & Dorn in intellectueel opzicht boven de *Dialogo* geplaatst. Daar waar de *Dialogo* de aanval zoekt op het oude systeem en de katholieke kerk, gebruikt Galilei de *Discorsi* om zijn ontdekkingen en wiskundige hypothesen bekend te maken. Omdat Galilei in zijn mechanische theorie over versnelling en de val nooit is toegekomen aan het verklaren van de invloed van kracht, plaatsen de auteurs zijn werk wel in perspectief door erop te wijzen dat Isaac Newton pas de ware aard van de natuur doorgrondde.⁹⁸

Conclusie

De drie hoofdzaken die uit de bespreking van *Dialogo* volgen, zijn tevens de kernontwikkelingen van de Wetenschappelijke Revolutie en ze komen in alle vier de boeken terug. De nieuwe visie op de werking van de wereld is ten tijde van de *Dialogo* een controversiële gedachte maar wordt door geleerden over heel Europa al snel geaccepteerd en wanneer Descartes op de wijsgerige manier de wereld opnieuw construeert wordt er niet meer getwijfeld aan het heliocentrisme. Met deze hoofdzaak heeft Galilei de geleerden van zijn tijd gedwongen te kiezen tussen het oude en het nieuwe systeem. De wiskundige benadering van de realiteit is de tweede hoofdzaak die in dit paper uit de *Dialogo* is gehaald. Samen met heliocentrisme is de kenbaarheid van de wereld door wiskunde de basis van moderne natuurwetenschap geworden. In de visie van Cohen wordt de wiskundige methode van Galilei pas in de latere transformaties door Newton en Huygens aan natuurfilosofie gekoppeld en komt het tot een totale visie van de werking van de wereld. Vermij, Henry en McClellan & Dorn zien de mathematisering van de natuur eveneens als doorslaggevend in de Wetenschappelijke Revolutie maar plaatsen dit niet in een strak kader los van de andere ontwikkelingen. In hun visies gebeurt de mathematisering geleidelijk door de ontwikkelingen op allerlei wetenschappelijke gebieden zoals astrologie, alchemie en magie.

De derde hoofdzaak is de overstap van zelf onderzoek doen in plaats van klassieke teksten op hun autoriteit vertrouwen. De herontdekking van de klassieke teksten wordt in alle vier de boeken als belangrijke oorzaak genoemd voor de Wetenschappelijke Revolutie. Voor de opleving van andere wijsgerige kennis dan Aristoteles en de wiskundige kennis van bijvoorbeeld Archimedes was die herontdekking de katalysator. Dankzij de humanistische traditie worden de teksten niet alleen vertaald maar ook gecontroleerd door zelf onderzoek te doen. Cohen verwijst dan naar de Alexandrijnse kennis die wordt getoetst en Henry en McClellan & Dorn wijzen op Vesalius die in de

⁹⁸ Ibidem, 242.

medische ambacht op talloze fouten stuit in het werk van Galenus. De kritische houding ten opzichte van de klassieke teksten en het afbrokkelen van de autoriteit ervan is na de *Dialogo* een gegeven in plaats van een nieuwe opvatting.

De auteurs verschillen dus niet van mening over het belang van Galilei voor de Wetenschappelijke Revolutie maar wel over de invloed van zijn werk op de verschillende ontwikkelingen. Cohen plaatst Galilei nadrukkelijk in de losse transformatie die tot de mathematisering van de natuur leidt terwijl Henry en McClellan & Dorn Galilei bovendien als belangrijke invloed zien voor het mechanische wereldbeeld.

Uit dit onderzoek is duidelijk geworden dat de *Dialogo* controversieel was. Het leverde Galilei een veroordeling op en hij werd officieel pas in 1992 door paus Johannes Paulus II gerehabiliteerd. Toch stond in 1632 nog helemaal niet vast dat het Copernicaanse systeem daadwerkelijk het Aristotelische systeem zou vervangen. De ellipsbanen van planeten die Kepler ontdekte waren door Galilei genegeerd en het denken in natuurwetten ontwikkeld door Descartes en uitgewerkt door Newton waren er voor nodig om de revolutie te doen slagen. De *Dialogo* was onmiskenbaar opzienbarend maar het boek bezegelde niet direct het lot van de natuurkennis. Meer nog dan de inhoud van de *Dialogo* die door opvolgers van Galilei in het natuuronderzoek is herzien, zijn de hoofdzaken van de het boek geldig gebleken. Ook al had Galilei het niet volledig bij het juiste eind met zijn hypothesen over de werking van de natuur, zijn methode en houding ten opzichte van de natuur hebben de basis gelegd voor de moderne natuurwetenschap.

Ten slotte

De vier behandelde historici houden er verschillende interpretaties op na over hoe de Wetenschappelijke Revolutie is verlopen. In de inleiding van dit paper wordt al kort de stelling geponeerd dat de waarde van geschiedschrijving zich openbaart wanneer er verschillende visies over een historische gebeurtenis of stand van zaken bestaan. Een vraag die gesteld kan worden over dat standpunt is of het niet vreemd is dat er verschillende interpretaties kunnen bestaan over hetzelfde onderwerp. Wat zegt dat over de wetenschappelijkheid van geschiedschrijving?

Dit zou vreemd zijn als geschiedwetenschap dezelfde doelen, onderwerpen en methoden had die worden gehanteerd in de natuurwetenschap. Daar is 'het vinden van de waarheid' het doel en natuurwetenschappelijke uitspraken zijn altijd waarheidsclaims. Komt een wetenschapper met een bewering of theorie die in strijd is met een eerder gemaakte bewering die bovendien algemeen geaccepteerd wordt, is het zaak uit te zoeken welke bewering het meest de waarheid benadert. Het is noodzakelijk dat de theorie die het onderspit delft definitief wordt afgeschreven en dat de nieuwe norm de volledige consensus krijgt.⁹⁹ Leezenberg en de Vries schrijven in hun boek *Wetenschapsfilosofie voor geesteswetenschappen* dat geesteswetenschappen zoals geschiedwetenschap echter een ander doel voor ogen hebben. In plaats van de waarheid te vinden wil men hier uitleg geven over betekenissen van bijvoorbeeld historische gebeurtenissen.¹⁰⁰ Het gevolg daarvan is dat een nieuwe onderzoeksvraag of invalshoek kan leiden tot een nieuwe interpretatie van betekenissen van historische gebeurtenissen of ontwikkelingen. Die nieuwe interpretatie hoeft niet zoals in de natuurwetenschap de oude te doen vervallen maar deze kunnen juist goed naast elkaar bestaan¹⁰¹. De verschillende interpretaties maken het beeld dat bestaat van die ontwikkeling completer.

Daarnaast is het onderwerp van onderzoek bij geschiedwetenschap van een andere orde dan bij natuurwetenschap. Menselijk handelen en complexe ontwikkelingen waar menselijk handelen en denken de oorzaak van zijn, zijn niet zo eenduidig te onderzoeken als de werking van de natuur. Meerdere interpretaties stellen de historicus in staat beter de betekenis van historische gebeurtenissen uit te leggen. De rol van de historicus is bepalender dan die van een natuurwetenschapper omdat interpreteren een handeling is waarbij totale objectiviteit onmogelijk is. De historicus die interpreteert is een mens met ervaringen die leeft in een bepaalde tijd met een set normen en waarden die niet 'ontdacht' kunnen worden. Daarom is de subjectiviteit die de

⁹⁹ Michiel Leezenberg en Gerard de Vries, *Wetenschapsfilosofie voor geesteswetenschappen* (Amsterdam 2012) 21.

¹⁰⁰ Leezenberg en de Vries, *Wetenschapsfilosofie voor geesteswetenschappen*, 21.

¹⁰¹ Ibidem, 21.

historicus ten opzichte van zijn onderwerp heeft een belangrijk aspect van geschiedwetenschap.

De wetenschappelijkheid van geschiedschrijving wordt gewaarborgd door eisen en normen die gesteld worden aan het werk van een historicus. De maatstaf is de mate waarin de samenhang en betekenis overtuigend is. Het verzamelen van historische feiten door bronnenonderzoek is dus niet genoeg. Om betekenis te kunnen geven is een samenhangend verhaal nodig dat analytisch de feiten met elkaar verbind.¹⁰²

Samenvattend kan gezegd worden dat geschiedschrijving zorgt voor een kritische houding ten opzichte van eerdere visies en dat gebeurt door met nieuwe onderzoeksvragen te komen. Daarbij is belangrijk in acht te nemen dat geschiedwetenschap wat betreft onderwerp als methode wezenlijk verschilt van natuurwetenschap, dat rechtvaardigt de mogelijkheid van meerdere visies in geschiedwetenschap.

¹⁰² John Tosh, *Pursuit of History* (Dorchester 2008) 149.

Literatuur

Galilei, Galileo. *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo tolemaico e copernicano* (1632). Vertaald door Hans van den Berg in: *Dialogo over de twee voornaamste wereldsystemen* (Amsterdam 2012).

Cohen, Floris. *De herschepping van de wereld het ontstaan van de moderne natuurwetenschap verklaard* (Amsterdam 2007).

Henry, John. *The Scientific Revolution and the Origins of Modern Science* (Basingstoke 2008).

Leezenberg, Michiel en de Vries, Gerard, *Wetenschapsfilosofie voor geesteswetenschappen* (Amsterdam 2012).

McClellan, James en Dorn, Harold. *Science and Technology in World History an introduction* (baltimore 2006).

Tosh, John, *The Pursuit of History* (Dorchester 2008).

Vermij, Rienk, *Kleine geschiedenis van de wetenschap* (Amsterdam 2006).