

Een Copernicaanse Prelude?

*Een onderzoek naar de rol van Copernicus en Galileo in de
Wetenschappelijke Revolutie*

Student: Mark Bakker

Docent: Prof.dr. Floris Cohen

Datum: 7 februari 2012

OSIII: De wetenschappelijke revolutie

Inhoudsopgave

Inleiding	2
De rol van Copernicus en Galilei in de wetenschappelijke revolutie	4
Copernicus.....	4
Galileo.....	5
De Revolutionibus	7
Het voorwoord	7
De plaats van Copernicus in de Wetenschappelijke Revolutie	9
Galileo Galilei.....	11
Argumenten tegen Copernicus	11
Dialogo.....	13
De plaats van Galileo in de Wetenschappelijke Revolutie	15
De Wetenschappelijke Revolutie	19
Wetenschap buiten Europa volgens Cohen en McClellan en Dorn.....	19
Analyse van de theoriën over de Wetenschappelijke Revolutie en oordeel	22
Conclusie	25
Bibliografie	28
Primaire bronnen	28
Secundaire literatuur.....	28

Inleiding

Comparative History of Vergelijkende Geschiedenis is een vakgebied binnen de geschiedenis die steeds populairder wordt. Het meest prangende veld van onderzoek is de zogenaamde Great Divergence, de periode van 1750 tot 1950 waarin het Westen de rest van de wereld ver achter zich laat op het gebied van rijkdom, technologie en macht. De oorzaken van de meeste historische processen kan men meestal al geruime tijd voordat het daadwerkelijke proces zich voltrekt indentificeren. Zo kan de wetenschappelijke en technologische voorsprong die het westen dankzij de industriële revoluties verkreeg teruggevoerd worden tot de wetenschappelijke revolutie die zich in de zestiende en zeventiende eeuw in Europa voordeed.

Deze wetenschappelijke revolutie markeerde het einde van de Middeleeuwen, in dit tijdperk vertrouwde men op overgeleverde wijsheden uit vroeger tijden, hetzij de bijbel, hetzij Aristoteles, om de natuur te begrijpen. In de zestiende en zeventiende eeuw ontstond het proces dat leidde tot de wetenschappelijke wereld zoals wij die nu kennen: kennis werd nu vergaard door eigen observatie, experimentatie en berekeningen, in plaats van uit oude geschriften. In de wereld van de moderne wetenschap volgen de nieuwe ontdekkingen elkaar in hoog tempo op en zit er constant vooruitgang in de menselijke kennis. Dit idee van vooruitgang heeft zijn oorsprong in de wetenschappelijke revolutie, waar voor het eerst het idee ontstond dat het leven van de mens beter kon worden dankzij nieuwe uitvindingen en kennis. Dit is een belangrijke breuk met de Middeleeuwen waar meer in termen van voortgang dan vooruitgang gedacht werd.

Over de veranderingen die Europa doormaakte tussen 1500 en 1700 zijn de wetenschapshistorici het in grote lijnen wel eens: In 1500 vierden Aristoteles en de scholastische traditie nog hoogtij, had wiskunde geen relatie tot de werkelijke wereld en draaide de zon om de aarde. In 1700 waren de theorieën van Newton algemeen geaccepteerd en werd kennis niet vergaard door de studie van oude teksten, maar door wiskunde en draaide de aarde niet alleen om de zon, maar kon men ook bewijzen waarom dit zo was. De stap van scholastiek naar Newton was uiteraard niet zomaar gezet. De zestiende en zeventiende eeuw kenden vele grote onderzoekers en pioniers op wiens werk hun opvolgers voort konden bouwen.

Volgens de traditionele historiografie begint de wetenschappelijke revolutie in 1543 met de publicatie van Copernicus' *De revolutionibus de orbium coelesti*, waarin hij de stelling poneert dat de aarde om de zon draait, het zogenaamde heliocentrische wereldbeeld. Hiermee geeft hij de aanzet tot verdere bestudering van de aarde met gebruikmaking van wiskunde in een proces dat via Kepler en Galilei en anderen uiteindelijk naar Newton loopt. Naar verloop van tijd zijn er echter andere theorieën gekomen die Copernicus een minder grote rol toedichten. Copernicus wordt door hen niet langer als de instigator van de wetenschappelijke revolutie gezien, maar op zijn best als voorloper

ervan. Zij wijzen Galileo Galilei aan als daadwerkelijke vader van de wetenschappelijke revolutie. Galilei zou de persoon zijn die daadwerkelijk afscheid neemt van de oude methoden en voor het eerst met bewijs voor zijn stellingen komt die een basis van de huidige wetenschappelijke methode in zich hebben. Copernicus is in essentie een astronoom van de oude stempel die min of meer per ongeluk een bom onder het oude wereldbeeld legde, die later door de echte vernieuwers tot ontploffing gebracht werd.

In dit paper zal onderzocht worden in hoeverre deze voorstelling van zaken klopt: zou Copernicus of Galileo gezien moeten worden als het begin van de wetenschappelijke revolutie en waarom? Om antwoord op deze vraag te krijgen zal eerst uitgebreider ingegaan worden op de plek die Copernicus en Galilei in verschillende historiografische tradities innemen. Om het traditionele standpunt te vertegenwoordigen is John Henrys *The Scientific Revolution and the Origins of Modern Science* gekozen. Floris Cohen en Rienk Vermij zijn de auteurs die een andere positie in het debat hebben ingenomen, maar onderling ook sterke verschillen tonen. McClellan en Dorn tenslotte hebben een comparatieve benadering van de geschiedenis van de wetenschap en technologie geschreven. Na de posities van de verschillende auteurs verkend te hebben zal met behulp van teksten van Copernicus en Galilei zelf geprobeerd worden aanwijzingen voor de theorieën van de historici in de bronteksten te vinden. Uiteindelijk zullen in het laatste hoofdstuk de volgende vragen beantwoord worden: In hoeverre bouwde Galilei voort op Copernicus' werk? Was Galilei's werk mogelijk geweest zonder Copernicus? Hoe groot is het verschil in methodologie? Moet het verhaal van de wetenschappelijke revolutie beginnen bij Copernicus of bij Galileo en wat zijn de gevolgen voor de historiografische posities van de wetenschappelijke revolutie in het algemeen? Daarnaast zal nog kort gekeken worden waarom de wetenschappelijke revolutie juist in Europa plaatsvond en niet elders.

De rol van Copernicus en Galilei in de wetenschappelijke revolutie

In dit hoofdstuk zal worden besproken welke rol Copernicus en Galileo spelen in de wetenschappelijke revolutie volgens verschillende historiografische posities. Hierin zullen in elk geval de publicaties van Cohen¹, Vermij², Henry³, en McClellan en Dorn⁴ behandeld worden.

Copernicus

In de traditionele geschiedschrijving wordt Copernicus een grote rol binnen de wetenschappelijke revolutie toegedicht, namelijk als initiator van dit proces. In de historiografische traditie wordt er gesproken van een Copernicaanse Wending: Copernicus luidt met zijn postuum verschenen werk *De Revolutionibus de Orbium Coelesti* (over de hemelse revolutie) een nieuw tijdperk in. Hierin wordt afscheid genomen van het geocentrische wereldbeeld van Aristoteles dat bijna tweeduizend jaar lang het centrale paradigma binnen de natuurfilosofie vormde. Volgens Henry is bovendien niet alleen de conceptie van het heliocentrische wereldbeeld hier van belang, maar ook het gebruik van wiskunde door Copernicus om zijn beweringen te onderbouwen.

In de Middeleeuwse scholastische traditie had de wiskunde slechts een bijrol als puur abstracte denkoefening en werd er geen praktisch nut aan toegekend. De toepassing van wiskunde om praktische problemen op te lossen zou een van de belangrijkste ontwikkelingen in de wetenschappelijke revolutie zijn. In tegenstelling tot Henry komen Cohen en Vermij uit de Nederlandse historiografische traditie, die Copernicus een minder grote rol toekent.

Cohen en Vermij beginnen hun verhaal over de wetenschappelijke revolutie beiden bij de oude Grieken met de natuurfilosofiën van de vier Atheense scholen, en de wiskunde van Archimedes en Ptolemaeus. Via Arabische vertalingen komen verloren geraakte Griekse teksten in de middeleeuwen weer in Europa terecht en ontstaat er een nieuw wereldbeschouwelijk paradigma uit de verbinding tussen christelijke theologie en Aristotelische filosofie.

De rol die Copernicus volgens hen speelt in de transitie tussen het Aristotelische wereldbeeld en de moderne wetenschap is echter zeer beperkt. Volgens Cohen en Vermij leunt Copernicus zwaar op de oude astronomische modellen van Ptolemaeus die uitgaan van een geocentrisch universum. *De Revolutionibus* bestaat uit zes boeken en alleen in het eerste boek wordt een heliocentrisch universum beschreven, in de overige boeken gebruikt Copernicus Ptolemaeïsche methoden om de

¹ Floris Cohen, *De Herschepping van de wereld. Het ontstaan van de moderne natuurwetenschap verklaard* (Amsterdam 2008)

² Rienk Vermij, *Kleine geschiedenis van de wetenschap* (Amsterdam 2010)

³ John Henry, *The Scientific Revolution and the Origins of Modern Science* (London 2008, 3e editie)

⁴ James E. McClellan III en Harold Dorn, *Science and Technology in World History: An Introduction* (Baltimore, Maryland 2006, 2e editie)

banen van zon, maan en planeten ten opzichte van de aarde te berekenen. Cohen en Vermij typeren Copernicus *de Revolutionibus* als een herziening van de almagest van Ptolemaeus. De modellen die Ptolemaeus ooit ontworpen had bleken na vele eeuwen uiteindelijk niet meer te voldoen omdat de afwijkingen van de positie van de sterren en planeten in werkelijkheid steeds meer afweken van het model.

Om het Ptolemaeische model werkbaar te houden moesten steeds meer hulpcirkels toegevoegd worden waardoor het steeds ingewikkelder werd. Het heliocentrische idee moet volgens Vermij en Cohen dan ook vooral gezien worden als een poging om het model te redden. De modellen van Copernicus werden vervolgens door latere astronomen veelvuldig gebruikt, het idee van een heliocentrisch universum werd daarentegen door vrijwel niemand omarmd. Het werk verscheen bovendien met een voorwoord van Osiander, een protestantse geestelijke, die het heliocentrische universum presenteerde als een puur abstract concept zonder basis in de werkelijkheid. Het eerste boek van de *Revolutionibus* vond dan ook weinig weerklank in de daaropvolgende decennia. Henry noemt deze kritiek op Copernicus ook, maar is desondanks van mening dat deze toch een groot vernieuwer is. Zoals gezegd was het gebruik van wiskundige argumenten, ook al gingen deze tegen de heersende natuurfilosofische opvattingen in, revolutionair te noemen. Hiermee leverde Copernicus een grote bijdrage aan de mathematisering van het wereldbeeld die Henry zich in de zestiende en zeventiende eeuw ziet voltrekken. Daarnaast is hij van mening dat Copernicus zelf het heliocentrische model wel degelijk als de fysieke waarheid zag en niet slechts als instrument om de berekeningen van de bewegingen van de hemellichamen te vergemakkelijken.⁵ Het feit dat tijdgenoten Copernicus werk wel slechts instrumenteel interpreteerden is juist een bevestiging van zijn uniciteit.⁶

Galileo

Zowel Cohen als Vermij laten de wetenschappelijke revolutie beginnen met Galileo Galilei in het begin van de zeventiende eeuw. Een belangrijke reden hiervoor is dat het Copernicaanse wereldbeeld in eerste instantie een onbewezen veronderstelling was. Volgens Vermij, maar ook Henry en McClellan en Dorn, was het in de tweede helft van de zestiende eeuw slechts een van meerdere mogelijkheden die over de inrichting van het universum beschreven waren. De oude theorie van Aristoteles en de modellen van Ptolemaeus bleven voor de meeste mensen nog steeds de meest aannemelijke optie. Vermij en Henry signaleren echter wel dat de afbrokkeling van het Aristotelische wereldbeeld in de zestiende eeuw al begon, mede onder invloed van humanisten die gedurende deze periode teksten van de andere drie Atheense filosofische scholen, alsmede

⁵ Henry, *The Scientific Revolution*, p.72.

⁶ Henry, *The Scientific Revolution*, p.73.

wiskundige verhandelingen van Archimedes en teksten van oude magiërs begonnen te bestuderen en vertalen.

Het feit dat Aristoteles in zijn eigen tijd niet onomstreden bleek, en de invloed van Reformatie die zelfstudie van de Bijbel en natuur voorstond, opende de menselijke geest voor eventuele nieuwe verklaringen voor natuurfenomen. Voor Vermij is Galilei degene die als eerste met bewijs komt voor het gelijk van Copernicus. Geholpen door de uitvinding van de telescoop ontdekt Galilei dat Jupiter manen heeft, hetgeen bewees dat behalve de aarde ook planeten satellieten kunnen hebben. Daarnaast toonde Galilei aan dat er voor een rechte beweging geen stuwende kracht nodig was, wat de draaiing van de aarde en planeten kon verklaren.⁷

Cohen ziet in tegenstelling tot de andere auteurs geen afbrokkeling van het Aristotelische wereldbeeld voor 1700. Hij ziet de wetenschappelijke revolutie als een gevolg van de culturele transplantatie van de Griekse natuurkennis in Renaissance Europa. Er hadden zich in de Islambeschaving na 800 en in middeleeuws Europa al eerder culturele transplantaties van de Griekse natuurkennis voorgedaan, maar deze kenden, net als de Griekse beschaving zelf, een periode van opkomst, bloei (het zogenaamde Gulden Tijdperk) en neergang. Het opmerkelijke is volgens Cohen dat deze neergang zich in zeventiende-eeuws Europa niet voordeed en de Griekse natuurkennis in plaats daarvan een transformatie onderging die leidde tot de moderne wetenschap.

Cohen ziet al sinds de Griekse tijd een tweedeling in een filosofische Atheense school, met Plato, Aristoteles, de Stoïcijnen en de Atomisten, en een abstract wiskundige Alexandrijnse school waar Archimedes en Ptolemaeus toe behoren. In de Renaissance komt hier kennis door waarneming bij. Tijdens de wetenschappelijke revolutie worden de drie vormen van natuurkennis eerst omgevormd tot Athene-plus, Alexandrië-plus en het opsporend experiment, waarna Newton deze uiteindelijk weet samen te brengen en zo het tijdperk van de moderne wetenschap inleidt. Cohen ziet Galilei en in mindere mate Kepler als de grondleggers van Alexandrië-plus. In tegenstelling tot Vermij en Henry ziet hij echter het Aristotelische wereldbeeld voor 1600 niet aan legitimiteit verliezen en is er volgens hem anno 1600 geen enkele reden om aan te nemen dat een revolutie in de beoefening van natuurkennis aanstaande is.⁸

⁷ Vermij, Kleine geschiedenis, p.73.

⁸ Cohen, De Herschepping van de wereld, p.102-103.

De Revolutionibus

Zoals in het vorige hoofdstuk beschreven zijn de meningen over Copernicus verdeeld. Dit heeft er grotendeels mee dat er discussie bestaat over de werkelijke bedoelingen van Copernicus met zijn *Revolutionibus*.⁹ Volgens Vermij en Cohen is het een uitgebreide herziening van Ptolemaeus' *Almagest*, waarin met het heliocentrische systeem dat Copernicus gebruikt onbewust een bom wordt gelegd onder het Aristotelische wereldbeeld. Aan de andere kant staat Henry die Copernicus als een doelbewuste revolutionair beschouwt die daadwerkelijk een geheel nieuw wereldbeeld presenteert. In het bestuderen van de *Revolutionibus* kan men niet heen om het later toegevoegde voorwoord van Osiander, die de lezer maant om het idee van een heliocentrisch universum vooral niet letterlijk te nemen, maar slecht als een rekenmodel te gebruiken. Het probleem is dat Copernicus overleed tegelijk met het verschijnen van zijn werk, waardoor niet met zekerheid vast is te stellen of hij nu werkelijk in zijn systeem geloofde of niet. Omdat boek I¹⁰ veruit het interessantste deel is zal dit behandeld worden.

Hoewel de rol van Copernicus door beoefenaren van wetenschapsgeschiedenis verschillend wordt beoordeeld valt er niet aan de conclusie te ontkomen dat Copernicus met zijn werk een bom legde onder het regerende Aristotelische wereldbeeld van de Middeleeuwen. De vraag is of Copernicus als een revolutionair, en daarmee als begin van de wetenschappelijke revolutie, gezien moet worden of niet. Om tot een antwoord op deze vraag te komen zijn de volgende zaken van belang: de reden waarom de *Revolutionibus* geschreven werd en de methodes en argumenten die Copernicus gebruikte om tot zijn conclusies te komen. Aan de hand hiervan kan er wellicht een antwoord gegeven op de volgende vraag: beschouwde Copernicus zijn beweringen in boek I over de draaiing van de aarde en de zon als middelpunt van het universum als de fysieke werkelijkheid of slecht als instrument om de positie van de planeten aan de hemel nauwkeuriger te kunnen berekenen?

Het voorwoord

Copernicus schreef een voorwoord bij zijn boeken dat gericht was aan de paus. Hierin zet hij zijn redenen voor het publiceren van zijn werk uiteen. Dit voorwoord kan verdeeld worden in zes paragrafen. In de eerste paragraaf bekent Copernicus dat hij grote twijfels heeft gehad over het publiceren van zijn werk uit angst om geridiculiseerd te worden:

⁹ Nicolaus Copernicus, *On the revolutions* (London 1978)

¹⁰ Nicolaus Copernicus, "Revolutions book one" in: Copernicus, *On the revolutions*, p.7.

Those who know that the consensus of many centuries has sanctioned the conception that the earth remains at rest in the middle of the heavens as its centre would I reflected regard it as an insane pronouncement if I made the opposite assertion that the earth moves.¹¹

In de tweede paragraaf vertelt hij vervolgens dat hij door zijn vrienden toch werd overgehaald om zijn werk te publiceren dat inmiddels al meer dan negen jaar lag te verstoffen: "They exhorted me to no longer refuse, on account of the fear which I felt, to make my work available for the general use of students of astronomy."¹² Vervolgens voert hij zijn redenen aan voor zijn onderzoek, namelijk om een andere manier te verzinnen om de beweging van objecten in het universum te verklaren. Copernicus redeneert dat astronomen onderling geen algemeen geaccepteerde methode voor het verklaren van deze beweging hebben bedacht. Dit blijkt ten eerste aan het onvermogen van astronomen om de lengte van een zonnejaar correct te berekenen en ten tweede dat men verschillende verklaringen en principes aanhangt voor de bewegingen van zon, maan en planeten. Het gebruik van epicirkels en andere wiskundige trucs om de banen van planeten te berekenen zijn in tegenspraak met de principes van uniforme beweging. Hierdoor heeft de structuur van het universum het uiterlijk van een monster gekregen, het tegendeel van perfectie en symmetrie die God gecreëerd heeft.

Om tot een oplossing te komen gaat Copernicus in oude Griekse teksten op zoek naar andere verklaringen voor de bewegingen van de hemellichamen. Hierbij stuitte hij op enkele obscure denkers die geloofden dat de aarde bewoog, en dus niet stilstaat in het midden van het universum. Voor Copernicus ging hier een zeker precedent van uit:

Hence I thought that I too would be permitted to ascertain whether explanations sounder than those of my predecessors could be found for the revolutions of the celestial spheres on the assumption of some motion of the earth.¹³

Nadat Copernicus alles had doorgerekend volgens de vooronderstelling dat de aarde draait, vormde het universum een samenhangend geheel:

[...] by long and intense study I have finally found that if the motions of the other planets are correlated with the orbiting of earth, and are computed for the revolution of each planet, not only do their phenomena follow therefrom but also the order and size of all the planets and spheres,

¹¹ Copernicus, On the revolutions, p.3.

¹² Copernicus, On the revolutions, p.3.

¹³ Copernicus, On the revolutions, p.5.

*and heaven itself is so linked together that in no portion of can anything be shifted without disrupting the remaining parts and the universe as a whole.*¹⁴

Aan het eind van zijn voorwoord spreekt Copernicus nog de hoop uit dat zijn werk door collega's serieus genomen zal worden en niet slechts aan ongefundeerde kritiek onderhevig zal zijn.

Uit het voorwoord blijkt dat Copernicus niet uit is op de omverwerping van het heersende wereldbeeld, maar juist om dat wereldbeeld beter te verklaren. Copernicus offert weliswaar een stilstaande aarde in het centrum van het universum op, maar hierdoor blijft de rest van het Aristotelische wereld beeld behouden. In boek I van de *Revolutionibus* gebruikt Copernicus dan ook diverse Aristotelische argumenten als bewijs voor de draaiing van de aarde, zoals: "As a quality, immobility is deemed nobler and more divine than change and instability, which are therefore better suited to the earth than to the universe."¹⁵ Het perfecte bovenmaanse, als tegendeel van de imperfecte ondermaanse aarde blijft dus feitelijk gewaarborgd. Het is juist omdat de hemellichamen in perfecte cirkels zouden moeten bewegen, dat Copernicus beweert dat de zon het middelpunt is in plaats van de aarde.

De plaats van Copernicus in de Wetenschappelijke Revolutie

De vraag waar Copernicus nu te plaatsen binnen het kader van de wetenschappelijke revolutie hangt samen met de bredere theorie die auteurs over die wetenschappelijke revolutie hebben. Waar Henry de wetenschappelijke revolutie al in de zestiende eeuw ziet ontstaan is kan Copernicus als het startpunt daarvan gezien worden. Het feit dat Copernicus zowel natuurfilosofische als wiskundige bewijzen voor het heliocentrisme gebruikt is dan een bewijs voor de stelling van de toenemende mathematisering van het wereldbeeld, die volgens Henry een van de belangrijke processen binnen de wetenschappelijke revolutie is. Met zijn gebruik van "nieuwe" historische bronnen en het tegenspreken van een geocentrisch universum kan men zien als de eerste afbrokkeling van het Aristotelische wereldbeeld waar zowel Vermij als Henry het over heeft. Dat Copernicus de theorie van Aristoteles over de inrichting van het universum en het plaatsen van het onveranderlijke als superieur aan het veranderlijke kan verklaard worden uit het feit dat er nog geen concurrerende alomvattend filosofisch systeem was, die pas in de zeventiende eeuw door Descartes bedacht zou worden. Het verschil tussen de opvattingen van Vermij en Henry is dat Vermij Copernicus niet als revolutionair beschouwt, omdat hij de natuurfilosofische (middeleeuwse) elementen van Copernicus belangrijker acht dan de vernieuwingen die hij toepast.

¹⁴ Copernicus, *On the revolutions*, p.5.

¹⁵ Copernicus, "Revolutions book one", p.17.

Copernicus zelf ziet zijn theorie wel als in tegenspraak zijnde met de heersende opvattingen in zijn tijd. Daarom is hij ook zo bang om geridiculiseerd te worden. Maar bij het lezen van de *Revolutionibus* valt vooral op dat hij juist zijn best doet om het heliocentrisme met het Aristotelische wereldbeeld in te passen en juist niet om met een nieuw wereldbeeld te komen. De zogenaamde Copernicaanse Wending lijkt dus achteraf benoemd te zijn, want in 1543 was hier duidelijk nog geen sprake van. Het heliocentrisme werd dan ook niet omarmd door Copernicus tijdgenoten. Het voorwoord van Osiander zal hier ongetwijfeld een rol in gespeeld hebben. Of Copernicus achteraf als een revolutionair bestempeld moet worden is dan ook vooral van persoonlijke voorkeur afhankelijk.

De reden dat Cohen Copernicus niet als revolutionair ziet ligt besloten in het centrale betoog van zijn boek. Cohen ziet de ontwikkelingen in de zestiende eeuw niet als noodzakelijke oorzaken van de wetenschappelijke revolutie. In zijn theorie van transplantatie van de Griekse natuurkennis in nieuwe beschavingen zijn de ontwikkelingen in de zestiende eeuw simpelweg een voorbeeld van zo'n transplantatie met opkomst, Gulden Tijdperk en neergang zoals deze ook eerder plaatsvond in de Middeleeuwen en in de Islambeschaving. Het punt van Cohen is dat er na het Gulden Tijdperk van de zestiende eeuw geen neergang volgde, zoals bij eerdere transplantaties het geval was, maar dat de Griekse natuurkennis transformeerde in iets nieuws. Deze transformatie vond in eerste instantie plaats dankzij Galilei en Kepler, die de oude Alexandrijnse traditie van wiskundebeoefening omvormden tot een 'Alexandrië-plus'. In dat licht bezien is Copernicus beter te vergelijken met Islamitische astronomen als Al-Toesi, dan met Galileo Galilei. Henry schaat Galilei juist in hetzelfde rijtje als Copernicus van geleerden die de mathematisering van wereldbeeld hebben bevorderd. In het volgende hoofdstuk zal het werk van Galilei nader beschouwd worden zodat bepaald kan worden of Galilei als een ergenaam van Copernicus gezien moet worden, of als de persoon die een breuk met de voorgaande tijd veroorzaakte.

Galileo Galilei

Galileo Galilei wordt door alle vier de auteurs een grote rol in de wetenschappelijke revolutie toegedicht. Met name zijn ontdekkingen met de telescoop en zijn bewegingstheorie worden van groot belang geacht. De exacte rol van Galilei binnen de wetenschappelijke revolutie verschilt echter per auteur. Henry ziet hem als een van de grote personen binnen een bredere stroming die bijdraagt aan de mathematisering van het wereldbeeld, een stroming waar ook Copernicus toe behoort. McClellan en Dorn wijden een heel hoofdstuk aan Galileo waarin vooral de bewegingstheorie en zijn botsingen met de katholieke kerk centraal staan. Cohen dicht Galilei echter de grootste rol toe, volgens hem begint de hele wetenschappelijke revolutie bij Galilei (en Kepler).

Hierbij gaat het niet alleen om de resultaten die Galilei boekt, maar ook om zijn methodes. Galilei maakt namelijk het onderscheid tussen ideale en werkelijke omstandigheden, en het feit dat de eerste gebruikt kunnen worden om iets over het tweede te zeggen. Met andere woorden: dat de tot dan toe zuiver abstracte leer der wiskunde op de werkelijkheid toegepast kan worden, waar voorheen de natuurfilosofen hier het alleenrecht op hadden. Zo probeert hij zijn theorie over de bewegingsleer te gebruiken als bewijs voor de draaiing van de aarde. Daarnaast maakt hij gebruik van experimenten om zijn theorieën te bevestigen. Hier is echter sprake van een bevestigend experiment en niet van het opsporend experiment dat later in Engeland ontstaat. Cohen ziet dankzij Kepler en Galilei een transformatie van de oude kennisstructuur ontstaan.

Argumenten tegen Copernicus

Tegen de theorie van Copernicus over de draaiing van de aarde waren er in de zestiende en zeventiende eeuw diverse argumenten aan te voeren.¹⁶ Deze zijn in te delen in argumenten van empirische en astronomische aard, van fysische en mechanische aard en van religieuze en theologische aard. De argumenten van empirische en astronomische aard waren gericht op het feit dat de draaiing van de aarde niet zintuigelijk waargenomen kon worden. Bovendien was het gemakkelijk waar te nemen dat de hemellichamen om de aarde draaien, bijvoorbeeld dat de zon altijd opkomt in het oosten en ondergaat in het westen. Daarbij veronderstelde Copernicus theorie dat als de aarde en planeten om de zon zouden draaien Venus en Mars net als de maan fasen zouden moeten vertonen, omdat zij zich steeds verder en dichterbij de aarde zouden moeten bevinden, en hun positie zou moeten wisselen ten op zichte van de aarde en de zon. Ook zouden, als de aarde een planeet was, de andere planeten vergelijkbaar moeten zijn met de aarde. Deze astronomische zaken zouden pas na de uitvinding van de telescoop waarneembaar worden.

¹⁶ Maurice A. Finocchio, *Defending Copernicus and Galileo. Critical Reasoning in the Two Affairs* (Dordrecht 2010) p.25.

Een probleem van het systeem van Copernicus was dat het onmogelijk was om het systeem aan te passen aan waarnemingen die hier niet mee strookten, in tegenstelling tot het systeem van Ptolemaeus waar eindeloos veel epicirkels aan toegevoegd konden worden.¹⁷ Een ander argument tegen Copernicus was de zogenaamde stellaire parallax, welke inhield dat de sterrenhemel door de draaiing van de aarde gedurende het jaar moest veranderen, wat niet het geval was. De oplossing van dit probleem is dat het heelal dermate groot is, en de sterren op dermate grote afstand van de aarde staan dat zo'n verschil te verwaarlozen is. Dit werd overigens pas in 1838 ontdekt.¹⁸

De mechanische en fysische bezwaren hielden in dat draaiing van de aarde onmogelijk was volgens de op dat moment aanvaarde regels van de fysica. Deze waren de kennis die men op dat moment van de bewegingsleer had. Deze geldende bewegingsleer was afkomstig van Aristoteles. Volgens Aristoteles bewogen de zware elementen aarde en water natuurlijkwijs naar het centrum van het universum en bewogen lucht en vuur zich van het centrum vandaan. De aarde en lucht in het centrum vormden de aarde en de oceanen, met daaromheen lucht en daarboven vuur, dat zichtbaar was in de hemellichamen.

Hieruit volgde dat natuurlijke beweging (het tegendeel van gedwongen beweging) zich altijd in een rechte lijn bewoog en tot stilstand kwam zodra de natuurlijke plaats van het object bereikt was. Hierin is stilstand de natuurlijke orde der dingen. De hemellichamen bewogen zich voort in sferen van aether, een onzichtbaar element dat als enige van nature een circulaire beweging maakte. Tevens was het volgens Aristoteles voor een object alleen mogelijk om één beweging te gelijk te volgen. Men kon een object dwingen tot bewegen, bijvoorbeeld door een steen op te gooien, maar deze zou naar verloop van tijd terugkeren naar zijn natuurlijke plek.

Volgens deze leer is zowel de draaiing van de aarde om de zon als de draaiing om zijn eigen as onmogelijk. Daarnaast waren er ook mechanische bezwaren tegen de draaiing van de aarde: als de aarde draaide zou een recht omhoog gegooid steen niet op dezelfde plaats terecht kunnen komen omdat de aarde inmiddels verder gedraaid zou moeten zijn. Daarnaast zouden door de centrifugale krachten die de aarddraaiing met zich mee bracht iedereen van de aarde weggeslingerd moeten worden en zou de aarde wellicht zelfs desintegreren. Hier was geen sprake van, dus de aarde stond stil, redeneerde men.¹⁹ Ten derde waren er religieuze bezwaren. Zo zijn er Bijbelpassages waarin staat dat de zon om de aarde draait. Bovendien was de officiële leer van de Katholieke kerk ook dat de aarde het stilstaande middelpunt was.²⁰

¹⁷ Finocchio, *Defending Copernicus and Galileo*, p.27.

¹⁸ Finocchio, *Defending Copernicus and Galileo*, p.28.

¹⁹ Finocchio, *Defending Copernicus and Galileo*, p.29-30.

²⁰ Finocchio, *Defending Copernicus and Galileo*, p.32.

Dialogo

Galilei heeft met name een rol gespeeld in het onderbouwen van het copernicaanse systeem door de argumenten die er tegen waren te weerleggen. In het weerleggen van de empirische argumenten speelden zijn ontdekkingen met de telescoop een grote rol. Ook deed hij nieuwe ontdekkingen op het gebied van de fysica die Aristoteles denkbeelden weerlegden. In een poging om de religieuze argumenten tegen Copernicus te weerleggen kwam hij uiteindelijk in aanvaring met Katholieke kerk.

“Such is the strength of men’s passion that they failed to notice how the contradiction of geometry is the bald denial of truth”²¹

In het voorwoord van zijn *Dialogo* schrijft Galilei dat hij de superioriteit van het Copernicaanse stelsel gaat bewijzen op de volgende manieren: Ten eerste dat de experimenten waarmee heeft aangetoond dat de aarde stilstaat niet als bewijs hiervoor geldig zijn. Ten tweede door astronomische observaties die Copernicus’stelsel bevestigen. Ten derde zal hij speculeren hoe de getijden van de zee veroorzaakt zouden kunnen worden door de draaiing van de aarde.²² Hiermee verdedigt hij Copernicus op twee van de drie soorten argumenten die er in de loop van de tijd tegen Copernicus waren ingebracht. Hij onderstreept nog eens de superioriteit van wiskunde als bewijsmiddel ten opzichte van filosofische argumenten:

*[...] I have taken the Copernican side in the discourse, proceeding as with pure mathematical hypothesis and striving by every artifice to represent it as superior to supposing the earth is motionless [...]*²³

Het boek is verdeeld in vier delen, die elk een dag beschrijven waarin de drie personages met elkaar discussieren over het Copernicaanse en Ptolemaeische wereldsysteem. De drie personages zijn Salviati, een astronoom en wetenschapper die het Copernicaanse systeem aanhangt, Sagredo, de geïnteresseerde leek die een middenpositie in het debat inneemt, en Simplicio, een aanhanger van de traditionele leer van Aristoteles. Op de eerste dag worden het Copernicaanse en Ptolemaeische systeem met elkaar vergeleken. Simplicio verdedigt de stilstaande aarde door middel van Aristotelische fysica. Volgens Simplicio is de maan een perfect glad object gemaakt van ruimtestof. Salviati bewijst met observaties met zijn telescoop dat de maan, net als de aarde bolvormig is, met bergen en kraters. Op deze manier wordt de Aristotelische scheiding tussen de veranderlijke aarde en het onveranderlijke bovenmaanse bestreden.

²¹ Galileo Galilei, *Assayer* p.231-232)

²² Galilei, *Dialogue on the Chief World Systems* p.2

²³ Galilei, *Dialogue on the chief world systems* Introduction p.6

Op de tweede dag wordt de besproken of de aarde om zijn as draait of niet. Galilei verdedigt het Copernicaanse stelsel mede door het oude Aristotelische wereldbeeld en de aanhangers ervan aan te vallen:

I applaud the reading and careful study of his works, and I reproach only those who give themselves up as slaves to him in such a way as to subscribe blindly to everything he says and take it as an inviolable decree without looking for any other reasons.²⁴

Galileo weerlegt als volgt het argument dat als de aarde zou draaien men dat op aarde door zou moeten hebben als volgt:

Then let the beginning reflections be the consideration that whatever motion comes to be attributed to the earth must necessarily remain imperceptible to us and as if nonexistent, so long as we look only at terrestrial objects; for as inhabitants of the earth, we consequently participate in the same motion.²⁵

Uiteindelijk is *Dialogo* meer een natuurfilosofisch dan een wiskundig boek. Er wordt slechts af en toe wiskunde gebruikt om zaken te verduidelijken, maar de doorslaggevende argumenten voor het Copernicaanse systeem zijn die van de logica. Eigenlijk bestrijdt Galilei zijn Aristotelische tegenstanders met hun eigen wapens. Voor Aristotelici is bewijs vergaard door een apparaat als een telescoop verdacht, omdat men niet precies wist wat er gebeurde als je door een telescoop keek. Simplicio zegt bijvoorbeeld in het eerste boek de telescoop onbetrouwbaar te vinden.²⁶ Ook wiskundig bewijs is aan aanhangers van Aristoteles niet besteed, aangezien wiskunde volgens hen geen uitspraken over de werkelijkheid kon doen. Het enige wat overbleef is dus het Aristotelische geocentrische wereldbeeld bestrijden met hun eigen soort argumenten. Salvatio zegt zelfs nog letterlijk dat Aristotles het waarschijnlijk met hem eens zou zijn geweest als hij destijds over dezelfde informatie beschikte als hij nu:

Is it possible for you to doubt that if Aristotle should see the new discoveries in the sky he would change his opinions and correct his books and embrace the most sensible doctrines, casting away from himself those people so weak-minded as to be induced to go on abjectly maintaining everything he had ever said?²⁷

²⁴ Galileo, *Dialogue Day two*, p.24

²⁵ Galileo, *Dialogue Day two* p.26

²⁶ Galileo, *Dialogue Day Two* p.10

²⁷ Galileo, *Day two* p. 12

De plaats van Galileo in de Wetenschappelijke Revolutie

Cohen is degene die Galilei de grootste rol in de wetenschappelijke revolutie toedicht. Voor Cohen is er in 1600 niets wezenlijks aan de beoefening van natuurkennis veranderd ten opzichte van de 100 jaar daarvoor. Tot dan toe heeft de zestiende eeuw alle kenmerken van de culturele transplantatie van Griekse natuurkennis zoals deze eerder in de Islambeschaving plaatsvond.²⁸

De wetenschappelijke revolutie is voor Cohen de transformatie van de drie verschillende vormen van natuurkennis in de zeventiende eeuw. De eerste en belangrijkste van die transformaties was die van de abstracte wiskunde, door Cohen aangeduid als 'Alexandrië', in 'Alexandrië-plus'. De transformatie van Alexandrië in Alexandrië-plus droeg de volgende kenmerken: het onderscheid dat gemaakt werd tussen de alledaagse werkelijkheid en de wiskundig ideale werkelijkheid, een nieuwe kennisstructuur die omschreven kan worden als de mathematisering van de natuur en een uitbreiding van het aantal bestudeerde onderwerpen. De alledaagse werkelijkheid en de wiskundig ideale werkelijkheid konden overbrugd worden dankzij het experiment, daardoor was het mogelijk dat de ideale werkelijkheid gebruikt kon worden om de alledaagse werkelijkheid te begrijpen.²⁹ Bovendien probeerde men de wiskundig ideale werkelijkheid zo goed mogelijk na te bootsen door op kunstmatige wijze de ideale omstandigheden voor het experiment te creëren.³⁰ Uiteindelijk waren de daadwerkelijke uitkomsten op dit moment minder belangrijk dan de veranderingen in werkwijze en het idee over de werkelijkheid. De grote stap die gemaakt werd was de bewustwording dat wiskunde ook toegepast kon worden op de werkelijkheid. Hierdoor lag de toekomst van natuuronderzoek weer helemaal open: "Een Aristoteliaan [...] wist al van tevoren hoe de wereld eruit ziet [...] Voor Kepler en vooral Galilei lag de wereld nagenoeg onontdekt voor hen [...]"³¹

Anders dan Cohen zagen Vermij en Henry dat het proces richting wetenschappelijke revolutie al eerder werd ingezet. Toch is hun theorie over de wetenschappelijke revolutie heel verschillend en hun beoordeling van Galilei ook. Vermij ziet dat er gedurende de zestiende en de eerste helft van de zeventiende eeuw een steeds grotere behoefte ontstaat om het heersende Aristotelische wereldbeeld te vervangen. Deze behoefte leidde tot een enorme hoeveelheid aan nieuwe ideeën waarvan er een klein aantal bruikbaar bleek. Om Aristoteles echt te vervangen was er echter een nieuw wereldbeeld nodig. Een vaste grondslag hiervoor ontbrak aan het eind van de zestiende eeuw nog.³²

²⁸ Cohen 104

²⁹ Cohen 119

³⁰ Cohen 121

³¹ Cohen 127

³² Vermij 64

Dit nieuwe wereldbeeld wordt uiteindelijk halverwege de zeventiende eeuw geformuleerd door Rene Descartes. Galilei is echter een belangrijke tussenstap hierin. Dankzij hem ontstond er een nieuwe onderzoekshouding en zijn onderzoek zou een inspiratiebron vormen voor latere onderzoekers. Hij kon echter de stap naar een nieuw wereldbeeld niet maken. Volgens Vermij was dit omdat Galileo teveel wiskundige en te weinig filosoof was. Bovendien zette de grote macht van de kerk Itale buitenspel als toekomstige locatie voor nieuwe controversiele ideeën.³³

Waar Cohen de praktische toepassing van wiskunde pas bij Galilei en Alexandrië-plus ziet ontstaan is de scheiding tussen theorie en praktijk volgens Henry al gedurende de zestiende eeuw aan het afnemen.³⁴ De mathematisering van het wereldbeeld is voor Henry een veel geleidelijker proces dan bij Cohen. Het werk van Galilei is voor Henry dan ook geen breekpunt in de wetenschapsgeschiedenis. Hij ziet immers al vanaf Copernicus dat de wiskunde gebruikt wordt om de werkelijkheid aan te tonen. Hoewel Henry Galileo's publicaties wel als zeer invloedrijk ziet, bevat Galileo's werkwijze niets wat niet al eerder plaatsvond.³⁵

Uiteindelijk heeft de vraag of historici de Wetenschappelijke Revolutie laten beginnen bij Copernicus of met Galilei veel te maken met hun gehele idee over hoe de revolutie in elkaar zit. Henry kiest voor een geleidelijke revolutie. Geleidelijkheid wordt hier bedoeld als geleidelijk ten opzichte van de revolutie volgens Cohen en Vermij. Uiteindelijk moet men als een tweeduizend jaar oud wereldbeeld in minder dan 200 jaar tijd radicaal omgedraaid wordt wel degelijk van een revolutie spreken. Het verschil tussen Henry en Cohen zit hem niet zozeer in de veranderingen die hebben plaatsgevonden. Henry's mathematisering van het wereldbeeld en Cohen's Alexandrië-plus komen qua inhoud sterk overeen. Het grote verschil is de periode waarin zich dit afspeelt. Voor Henry is dit een proces dat in de zestiende eeuw begint en met Newton voltooid wordt. Hetzelfde geldt voor het gebruik van het experiment. Henry maakt daarnaast gebruik van secundaire argumenten zoals de tegenstelling tussen een voluntaristisch en een intellectualistisch godsbeeld in verschillende Europese landen en de grote invloed van magie op het ontstaan van de wetenschap.

Cohen daarentegen heeft een conceptuele benadering van de wetenschappelijke revolutie. Dit concept is die van culturele transplantatie en verborgen ontwikkelingspotentieel. Het voordeel van deze benadering is dat het een comparatieve analyse mogelijk maakt, zoals Cohen ook doet door de beoefening van natuurkennis in het oude Griekenland, de Islambeschaving, de Europese Middeleeuwen en de Europese Renaissance naast elkaar te leggen. Voor Cohen zijn de ontwikkelingen in de zestiende eeuw geen noodzakelijke opmaat voor wat er in de zeventiende eeuw plaats zou vinden, juist omdat hij dankzij zijn verklaringsmodel kan aantonen dat vergelijkbare

³³ Vermij 73-74

³⁴ Henry 27

³⁵ Henry 29

ontwikkelingen in Arabië niet tot rigoreuze transformatie hebben geleid. De daadwerkelijke wetenschappelijke revolutie doet zich bij Cohen dan ook plotseling en als grotere breuk voor dan bij Henry.

Eigenlijk valt er voor al deze posities wel iets te zeggen. Het concept dat Cohen gebruikt is erg elegant, maar om dit concept te laten werken is hij eigenlijk wel verplicht om Copernicus hiervoor op te offeren. Het idee dat de natuurkennis in Renaissance Europa eenzelfde transplantatie was als eerder in de Middeleeuwen en in de Islambeschaving, en de transformatie later plaatsvond, maakt het onmogelijk om de revolutie te beginnen bij Copernicus. Het lijkt erop dat hij daarom Copernicus bewust wat tekort doet door te wijzen op de oudere elementen uit Copernicus werk. Echter we moeten Copernicus wel als een kind van zijn tijd beoordelen. Terwijl Cohen dit wel doet bij Galilei en andere zeventiende eeuwse natuuronderzoekers houdt hij er wellicht te weinig rekening mee dat *de Revolutionibus* 90 jaar voor *Dialogo* geschreven werd en het daarom logisch is dat de Middeleeuwse invloeden op Copernicus groter zijn. Het punt dat het onduidelijk is of Copernicus dacht dat zijn heliocentrische systeem zelf als reël beschouwd moet worden, omdat Kepler en Galileo dit wel deden kon de transformatie naar Alexandrië-plus plaatsvinden.

Het probleem dat er is als men zoals Henry de wetenschappelijke revolutie bij Copernicus laat beginnen is dat het vervolgens erg lang duurt voordat er na 1541 iets relevant gebeurt. Henry zelf schat het aantal astronomen dat Copernicus systeem voor waar aannam voor 1600 twintig man bedroeg. Dit laat in ieder geval zien dat er in de decennia direct na 1541 weinig tot niets ondernomen werd met Copernicus ideeën. Henry zegt dat Copernicus' uniciteit juist bevestigd wordt door het feit dat zijn collega astronomen zijn ideeën niet letterlijk namen.³⁶ Cohen zegt dat Copernicus een bom onder de Aristotelische wereldbeeld had gelegd, maar dat het de vraag was of deze ooit tot ontploffing zou komen.³⁷ Deze beide uitspraken kunnen gedaan worden omdat Copernicus over enkele essentiële zaken gelijk had: heliocentrisme en de dubbele aarddraaiing. Op het moment zelf kon echter niks bewezen worden en waren de argumenten tegen Copernicus overtuigender dan de argumenten voor. In de zestiende eeuw waren het Ptolemaeïsche systeem en het Copernicaanse systeem even waarschijnlijk, dus gaven de meeste mensen de voorkeur aan de oude theorie. Dat Copernicus ondanks het gebrek aan bewijs toch ging berekenen wat de gevolgen van een heliocentrisch universum waren moet waarschijnlijk toegeschreven worden aan een zeker wetenschappelijk instinct. Iets vergelijkbaars zal de reden zijn dat een later genie als Galilei interesse voor het Copernicaanse systeem opvatte. Uiteindelijk weet Galilei namelijk ook niet definitief te bewijzen dat de aarde draait, maar weet hij in ieder geval de oude Aristotelische theorie aan te vallen. Het feit dat Galilei voortbouwde op Copernicus werk en dit ook toegaf geeft aan dat de

³⁶ Henry 23

³⁷ Cohen 120

wetenschappelijke revolutie zonder Copernicus niet mogelijk was geweest. Om de wetenschappelijke revolutie te laten beginnen met Copernicus gaat echter te ver. In de zestiende eeuw zijn er wel meer nieuwe wereldsystemen bedacht. Het feit dat een ervan de juiste bleek te zijn is geen reden om het hele tijdperk als revolutionair te zien. Het is moeilijk te geloven dat Copernicus theorie een toevalstreffer was, en gezien de grote invloed die hij daarna had maakt dat eigenlijk ook niet uit. Wat betreft de Copernicaanse Wende: deze was er, maar vond daadwerkelijk pas ver na Copernicus plaats. Daarom is het beter om van een Copernicaanse Prelude te spreken, als een voorproefje van wat de wereld in de zeventiende eeuw nog te wachten stond.

De Wetenschappelijke Revolutie

Wetenschap buiten Europa volgens Cohen en McClellan en Dorn

De vraag waarom de wetenschappelijke revolutie zich in Europa voltrok en elders in de wereld niet is een prangende vraag. De wetenschappelijke revolutie wordt als een van de oorzaken gezien van de overmacht van het westen over de rest van de wereld. Van de behandelde auteurs laten Cohen en McClellan en Dorn zich uit over de ontwikkeling van wetenschap, in het geval van McClellan en Dorn, of natuurkennis, in het geval van Cohen, in niet-Europese culturen voor 1600. De wetenschappelijke revolutie vond in Europa plaats, dus is het te verwachten dat Europa in de vroegmoderne tijd bijzondere eigenschappen bezat die andere culturen niet bezaten die de revolutie mogelijk maakten. Echter Cohen en McClellan en Dorn gebruiken heel verschillende modellen om de wetenschappelijke revolutie te verklaren, en hebben daarom verschillende verklaringen waarom de wetenschappelijke revolutie wel plaatsvond in Europa en niet elders.

In tegenstelling tot Cohen, die zich concentreert op de wetenschappelijke revolutie zelf, behandelen McClellan en Dorn in hun boek de hele wereldgeschiedenis van wetenschap en technologie, zoals de titel van het boek "Science and Technology in World History" al aangeeft. McClellan en Dorn beginnen hun verhaal in de prehistorie, en behandelen daarna de beschavingen in de oudheid, de grote niet-Europese beschavingen in de Middeleeuwen, om daarna via Middeleeuws Europa en de wetenschappelijke revolutie en tenslotte bij de moderne wetenschap te belanden. Hun hoofdverklaring voor technologische vooruitgang is in eerste instantie een economische. Zij signaleren dat zodra er in de oudheid een overschot aan voedsel geproduceerd wordt, er mankracht vrijkomt om zich met andere zaken dan voedselproductie bezig te houden, en er complexere samenlevingen kunnen ontstaan. Dit gebeurt het eerst aan de vruchtbare oevers van de grote rivieren: Mesopotamie aan Eufraat en Tigris, Egypte aan de Nijl, India aan de Indus en China aan de Gele Rivier. Hier vindt voor het eerst de neolithische revolutie plaats die de omslag markeert van jagers en verzamelaars naar landbouw. Deze landbouw vond het eerst plaats langs rivieren die eens per jaar buiten hun oevers traden en zo vruchtbaar slib afzetten waar de landbouw op bedreven werd. Doordat het droge klimaten betrof was men geheel afhankelijk van periodieke overstromingen en irrigatie van akkerland. Naarmate de bevolking groeide werd een vorm van organisatie noodzakelijk om de landbouw efficiënter te maken zodat de groeiende bevolking van voedsel kon worden voorzien. Dit gebeurde in eerste instantie om samen te werken op het gebied van irrigatie.

Hieruit ontstonden de eerste beschavingen. Deze beschavingen hadden met elkaar gemeen dat ze een omvangrijk bureaucratisch apparaat nodig hadden om de landbouwproductie in het halfjaar dat de rivier laag stond zo efficiënt mogelijk te laten verlopen. Dit had een aantal gevolgen

die van belang waren voor de ontwikkeling van technologie en wetenschap: er ontstond een vraag naar betere technieken om de landbouwopbrengst te verhogen en naar manieren om de vloed te voorspellen. Een ander gevolg was dat wetenschap en technologie werden bedreven in opdracht van de staat. Dit betekende dat er alleen toegepaste wetenschap en techniek werd bedreven die van nut kon zijn voor de staat, hetzij in de landbouw, hetzij om het bestuur van het rijk te vergemakkelijken. McClellan en Dorn spreken van 'hydraulic civilizations' omdat al deze vroegste beschavingen georganiseerd waren rondom landbouw door middel van irrigatie en periodieke overstromingen.

De Griekse beschaving die later ontstond was geen hydraulic civilization. In Griekenland waren geen grote rivieren, en geen grootschalige akkerbouw. De Grieken produceerden luxe producten als olijfolie en wijn die ze verhandelden, en importeerden een groot deel van hun voedsel. Er was in Griekenland dus geen grote bureaucratie nodig, en die was er ook niet. In plaats daarvan bestond Griekenland uit vele onafhankelijke stadsstaten. De afwezigheid van een grote bureaucratie die alle getalenteerde personen inlijfde leidde ertoe dat er een unieke vorm van wetenschap ontstond die onafhankelijk was van de staat en dus niet beperkt werd door de opdracht om nuttige dingen te verzinnen. Hierdoor was het mogelijk dat er in de Griekse beschaving filosofie en abstracte wiskunde ontstond.

Het verklaringsmodel van de hydraulische staten blijft daarna volgens McClellan en Dorn nog steeds geldig. In hun boek worden de Chinezen, Indiërs, Arabieren en Maya's als hydraulische beschavingen geïnterpreteerd, waar uiteindelijk praktische overwegingen de boventoon voerden in de ontwikkeling van wetenschap en technologie. De uitzondering hierop was Europa. Na de val van het Romeinse Rijk was West-Europa weer teruggeleden tot een pre-neolitische samenleving. Door een landbouwrevolutie in de middeleeuwen weet men echter de landbouwopbrengsten te verhogen, wat leidt tot bevolkingsgroei en grotere steden. Door het vochtige klimaat was men niet afhankelijk van irrigatie en ontstond er geen hydraulic civilization met een groot bureaucratisch staatsapparaat. Het gevolg was een dynamische samenleving waarin technologische vooruitgang niet beperkt bleef tot het domein van de landbouw, en uiteindelijk leidde tot onafhankelijke wetenschapsbeoefening zoals in het oude Griekenland. Onder deze omstandigheden was Europa de logische plek voor de wetenschappelijke revolutie.

Het verklaringsmodel dat Cohen gebruikt is dat van culturele transplantatie van een kennisstelsel, en het verborgen ontwikkelingspotentieel dat in dit kennisstelsel besloten ligt. Volgens Cohen is zo'n stelsel van natuurkennis een samenhangend alomvattend idee over hoe de wereld in elkaar zit, zonder gebruikmaking van bovennatuurlijke verklaringen. Diverse culturen hebben hun kennis slechts op enkele terreinen ontwikkeld. De enige culturen die een alomvattend stelsel van natuurkennis ontwikkeld hebben waren de Chinezen en de Grieken. De verschillende vormen van Chinese natuurkennis zijn in het verenigde keizerrijk gegroeid tot een synthese, die in de geografisch

geïsoleerde Chinese cultuur zo is blijven bestaan tot de ondergang van het keizerrijk in de 20^e eeuw. De Griekse beschaving heeft daarentegen altijd in contact gestaan met andere nabije beschavingen en daardoor is ook de Griekse natuurkennis beïnvloed, bijvoorbeeld door Babylonische astronomie.

Later heeft dankzij de veroveringen van Alexander de Grote de Griekse natuurkennis zich van Egypte tot India verspreid. Bovendien was er geen sprake van een synthese in de Griekse cultuur, maar bleven er verschillende vormen van natuurkennis naast elkaar bestaan. In Athene waren er de 4 grote filosofische scholen van Plato, Aristoteles, de Stoa en de Atomisten. Daarnaast was er de abstracte wiskunde met Alexandrië als centrum. Waar de Chinese synthese zich doorontwikkelde tot er geen vooruitgang meer mogelijk was, kende de beoefening van Griekse natuurkennis een neergang vanaf 150 voor Christus. Dit houdt echter niet in dat de Griekse natuurkennis uitontwikkeld is, het ontwikkelingspotentieel blijft, de creatieve periode van de Griekse natuurkennis is echter voorbij. Het verborgen ontwikkelingspotentieel kan eventueel verder ontwikkeld worden als het corpus van natuurkennis in een andere omgeving geplaatst wordt. Dit noemt Cohen culturele transplantatie.

Rond het jaar 800 beginnen de Arabieren allerhande Griekse teksten te verzamelen en vertalen voor de nieuwe bibliotheek van Bagdad. De nieuw beschikbare kennis wordt door Arabische geleerden bestudeerd en zij weten de Griekse natuurkennis op verschillende punten verder te ontwikkelen. Na de opkomst en het Gulden Tijdperk van de Griekse natuurkennis in de Islambeschaving volgt echter weer de onvermijdelijke neergang rond 1050. Hierna vindt in de elfde eeuw een culturele transplantatie plaats in Europa, waar dankzij de reconquista van Toledo in het Arabisch vertaalde Griekse teksten in Europa terecht komen. Deze culturele transplantatie volgt weer hetzelfde patroon van opkomst, Gulden Tijdperk en neergang. Tenslotte is er in de Renaissance nog een culturele transplantatie in Europa waar door de val van Constantinopel in 1453 een grotere verscheidenheid aan teksten haar weg naar Europa vindt dan in de Middeleeuwen. Deze transplantatie beleeft echter geen neergang, want het mond uit in een transformatie van het Griekse kennisstelsel in de wetenschappelijke revolutie.

Hoewel de verklaring modellen van McClellan en Dorn en Cohen totaal verschillend zijn, zijn ze op een aantal punten wel met elkaar te rijmen. De oude beschavingen waarvan Cohen zegt dat ze slechts specialistische kennis over de natuur ontwikkeld hebben vallen grotendeels samen met de hydraulische beschavingen van McClellan. Cohen gaat niet in op de vraag waarom bijvoorbeeld de Babyloniers en Egyptenaren geen alomvattend stelsel van natuurkennis ontwikkeld hebben. De kenmerken van de hydraulische beschaving zouden hiervoor een verklaring kunnen zijn. Echter, de verschillende beoordeling van de Chinese cultuur is hier niet mee verklaard: ondanks dat dit volgens McClellan en Dorn een hydraulische beschaving is heeft het volgens Cohen toch een stelsel van natuurkennis ontwikkeld. Cohen zegt echter dat de Chinese natuurkennis is ontstaan in de periode

van de Strijdende Staten, waarin er geen grote verenigde staat was die de ontwikkeling van die natuurkennis kon domineren. Zodra China echter verenigd wordt onder de keizers ontstaat er een officiële staatsleer, de Synthese. Deze Synthese en het gebrek aan kruisbestuiving met andere beschavingen is de hoofdreden dat de Chinese natuurkennis niet verder ontwikkeld kon worden. Men kan stellen dat met het ontstaan van het Chinese keizerrijk er weer een hydraulische beschaving ontstond die de Chinese natuurkennis op eenzelfde manier beperkte als die in Egypte of Babylon.

Het grootste spanningsveld tussen de theorie van Cohen en die van McClellan is echter de benadering van de Islambeschaving. Cohen schaaft deze in de intellectuele traditie van de Griekse natuurkennis. McClellan en Dorn rekenen de Islambeschaving tot de hydraulische beschavingen die de tegenpool vormen van de Griekse en Europese beschavingen. McClellan en Dorn noemen de bestudering van Griekse teksten in deze beschaving wel, maar aangezien zij geen verklaringmodel gebruiken waar culturele transplantatie een rol in speelt trekken zij niet dezelfde conclusies als Cohen. Volgens Cohen had de transformatie van Alexandrië in Alexandrië-plus net zo goed in de Islambeschaving als in Europa plaats kunnen vinden, temeer gezien het feit dat het Gulden Tijdperk in de Islambeschaving door externe factoren tot een einde kwam.³⁸

In Europa rond 1600 waren de juiste omstandigheden aanwezig om tot een transformatie van Griekse natuurkennis te komen. Het universitaire systeem zorgde ervoor dat er relatief veel mensen geschoold waren in natuurkennis, waardoor er veel mensen waren die aan het debat konden meedoen, en er een groter reservoir was waar potentiële geniën uit konden voortkomen. Verder was Europa een relatief klein cultuurgebied, waardoor ideeën makkelijker verspreid konden worden, ook de uitvinding van de drukpers speelde hierin een rol. Tegelijkertijd was er politieke verdeeldheid, zowel tussen kerk en staat als tussen staten onderling. Hierdoor was het, in tegenstelling tot bijvoorbeeld de Islambeschaving, moeilijker voor religieuze leiders om de ontwikkelingen de kop in te drukken. Tevens was dit voor individuele wereldlijke leiders niet mogelijk, omdat ontwikkelingen in een ander Europees land wortel konden schieten. Ook de Reformatie speelde een rol, in zoverre dat er zich een mentaliteitsverschil voordeed, waarin zelfstudie en persoonlijke ontwikkeling nagestreefd werd.

Analyse van de theoriën over de Wetenschappelijke Revolutie en oordeel

Het bestaan van grote hoeveelheden verklaringen omtrent de wetenschappelijke revolutie zal te maken hebben met de complexiteit van dit historische proces. In ieder geval is duidelijk dat er in Europa een proces heeft plaatsgevonden waarin het wereldbeeld gebaseerd op de filosofie van

³⁸ Cohen 127

Aristoteles na 2000 jaar vervangen werd door een wereldbeeld gebaseerd op moderne wetenschap. Men is het er algemeen over eens dat dit oude wereldbeeld in ieder geval rond 1500 nog grotendeels onomstreden was, en rond 1700 definitief verdwenen was ten faveure van Newton's fysica. Hoe men precies van A naar B gegaan is staat echter ter discussie. Een belangrijke factor is de complexiteit van deze periode in de Europese geschiedenis. Naast de wetenschappelijke revolutie was dit ook de tijd van humanisme, reformatie, contrareformatie, exploratie en kolonialisatie, oorlogen en militaire innovaties. Welke plaats de wetenschappelijke revolutie precies inneemt tussen al deze ontwikkelingen en hoe zij elkaar beïnvloed hebben is lastig te bepalen. Daarnaast is in deze periode de basis gelegd voor de Europese suprematie in de lange negentiende eeuw. Dit nodigt uit tot een comparatieve bestudering van de wetenschappelijke revolutie met de vraag waarom deze wel in Europa en niet elders plaatsvond, welke in de vorige paragraaf behandeld is.

Zoals in het vorige hoofdstuk wordt beschreven doet zich volgens Cohen rond 1600 een breuk voor waarbij Alexandrië transformeert in Alexandrië-plus. De reden dat deze breuk zich rond 1600 voordoet is te wijten aan een combinatie van het genie van Kepler en Galilei met gunstige randvoorwaarden in Europa op dat moment. Voor de zich tegelijkertijd voltrekkende processen van Henry zijn exacte momenten in de geschiedenis van minder belang. Hoe meer primaire en secundaire verklaringen aangedragen worden, hoe minder essentieel een enkele ervan heeft voor het eindresultaat. Waar Cohens wetenschappelijke revolutie zich in het midden van de zeventiende eeuw door oorlog en religieuze twisten op de rand van de afgrond bevindt, is Henry's revolutie robuuster, mede dankzij de uitzonderingspositie die Engeland inneemt temidden van de religieuze scherpslijperij op het vasteland.

Vermij ziet de wetenschappelijke revolutie vooral als een strijd om het in de zestiende eeuw steeds meer aan legitimiteit verliezende Aristotelische wereldbeeld te vervangen. Het proces om tot een nieuw wereldbeeld te komen is er een van vallen en opstaan. Uiteindelijk worden met Galilei de contouren van dit wereldbeeld zichtbaar maar is het Descartes die met het mechanische wereldbeeld de definitieve doorbraak verzorgt. Hierna zet Newton de puntjes op de i om zo de wetenschappelijke revolutie te vervolmaken. Hiermee is Vermij's wetenschappelijke revolutie een enkelvoudige revolutie.

Henry ziet twee sporen binnen de revolutie, namelijk die van de wiskunde en die van het experiment. Descartes en het mechanische wereldbeeld zijn wat hem betreft min of meer een dwaalspoor die eventueel gezien kunnen worden als voorloper van de biomedische wetenschappen maar uiteindelijk van weinig invloed op de wetenschap in het algemeen is geweest.

Cohen ziet drie stromingen en zes revoluties gedurende de zeventiende eeuw. Deze stromingen zijn Alexandrië – wiskunde, Athene – natuurfilosofie en kennis op basis van waarneming. De eerste drie revoluties betreffen de transformatie van deze drie stromingen in een nieuwe kennis

structuur: Galilei en Kepler creëren Alexandrië plus; Descartes en Isaac Beeckman Athene-plus en onder anderen Francis Bacon legt de basis voor het opsporend experiment. In de tweede helft van de zeventiende eeuw vinden de 4e en 5e revolutie plaats: onder anderen Huygens en Newton weten Alexandrië-plus en Athene-plus te combineren tot iets nieuws. Boyle, Hooke en opnieuw Newton combineerden Athene-plus en het opsporend experiment. Daarna rondt Newton de Revolutie af door alle stromingen te combineren en zo de moderne wetenschap laat ontstaan.

De conceptuele benadering van Cohen heeft een aantal grote voordelen. Zoals eerder gezegd biedt het een instrument om natuurkennisbeoefening in verschillende culturen en tijdperken met elkaar te vergelijken. Tegelijkertijd helpt het een gecompliceerd thema als de wetenschappelijke revolutie toegankelijker te maken. Henry gebruikt echter de tegenovergestelde strategie: hij voert juist veel verschillende processen en secundaire oorzaken van de wetenschappelijke revolutie aan. Het voordeel hiervan is dat er een completer beeld van de periode geschetst wordt.

Conclusie

Het idee dat de aarde om de zon draaide was in de oudheid wel eens opgeworpen, maar ook weer verworpen. Deze teksten raakten in de vergetelheid, en de natuurfilosofie van Aristoteles werd het dominante kennisstelsel. Aristoteles' model met een stilstaande aarde in het midden van het heelal, het geocentrische model, zorgde echter voor grote problemen om de bewegingen van de hemellichamen te verklaren. Om deze reden ging Copernicus op zoek naar een oplossing. Deze vond hij in het heliocentrische model, waar de zon in het midden staat en de aarde en de planeten eromheen draaien. Uit de berekingen van Copernicus bleek dat de bewegingen van de hemellichamen met het heliocentrische model makkelijker te verklaren waren. Hard bewijs dat dit model daarom de fysische waarheid vertegenwoordigde had hij echter niet. Er werden veel argumenten tegen het model van Copernicus gegeven van astronomische, mechanische, fysische en religieuze aard. Het Copernicaanse stelsel werd in de zestiende eeuw derhalve niet voor waar aangenomen.

Er waren echter wel mensen die in het Copernicaanse model geloofden en bewijs ervoor gingen zoeken. De bekendste hiervan was Galileo Galilei. Wat Galileo deed was niet zozeer het gelijk van Copernicus bewijzen, maar vooral het ongelijk van Aristoteles. Dankzij de telescoop kon hij aantonen dat het oppervlak van de hemellichamen aan verandering onderhevig waren en er dus geen sprake kon zijn van het perfecte bovenmaanse. Bovendien kon hij aantonen dat Jupiter manen had en Venus om de zon draaide, waardoor bewezen was dat niet alle hemellichamen om de aarde draaiden. Hij beargumenteerde dat men op aarde niets van de aardraaiing merkten omdat alles op aarde ongemerkt aan de beweging van de aarde deelnam, dit trachtte hij ook op wiskundige basis te vergelijken.

Dat Galileo zelf sprak van het Copernicaanse wereldsysteem maakt duidelijk dat hij zelf in ieder geval Copernicus verantwoordelijk achtte voor het heliocentrische model. Het is natuurlijk niet te bewijzen of zonder Copernicus niemand anders het heliocentrische model geïntroduceerd had, maar het feit blijft dat hij degene was die het gedaan heeft. Copernicus heeft zo Galileo van een onderwerp voorzien waar hij op voort kon borduren.

Over in welk licht dit voortborduren gezien moet worden verschillen de historici van mening. Henry hecht de minste waarde aan het werk van Galileo binnen het grotere geheel van de wetenschappelijke revolutie. Voor hem is Galileo's werk vooral consolidatie van een proces van mathematisering van het wereldbeeld dat in de zestiende eeuw gaande was. Vermij ziet Galileo als een belangrijke schakel in de wetenschappelijke revolutie die met nieuwe onderzoeksmethoden gekomen is en de contouren schetste van een nieuw wereldbeeld. Dat nieuwe wereldbeeld werd vervolgens door de filosoof Descartes gecreëerd. Voor Cohen is Galileo juist degene die, tegelijk met

Kepler, de wetenschappelijke revolutie in gang zette. Galileo heeft volgens Cohen de oude Griekse beoefening van abstracte wiskunde getransformeerd in een heel nieuwe kennisstructuur. Dit deed hij door de wiskunde uit het strict abstracte gebied te halen door de verbinding tussen een ideale wiskundige werkelijkheid en de alledaagse werkelijkheid te maken. Het experiment diende als brug tussen beide.

Het belang dat door de verschillende auteurs aan Copernicus en Galileo toegeschreven wordt heeft zijn oorsprong in het verklaringsmodel voor de wetenschappelijke revolutie waar zij gebruik van maken. Henry's proces van mathematisering van het wereldbeeld heeft zijn oorsprong in het werk van Copernicus. Daarom is Copernicus veel belangrijker voor hem dan Galileo, die ergens gaandeweg het proces te plaatsen is. Volgens Henry gebruikt Galileo ook geen methoden die eerder nog niet gebruikt werden. Voor Vermij is Copernicus minder belangrijk omdat hij wel met een nieuw astronomisch model komt, maar hier geen wereldbeschouwelijke consequenties aan verbindt. Bovendien deden zijn tijdgenoten dit ook niet. Galileo is belangrijker omdat hij door nieuwe methodes een stap zet richting een nieuw wereldbeeld. Voor Vermij is Descartes echter de belangrijkste schakel in de wetenschappelijke revolutie. Cohen gebruikt een conceptueel verklaringsmodel, waarin het Griekse corpus van natuurkennis getransplanteerd wordt naar andere culturen. Copernicus valt in de periode van het Gulden Tijdperk van de culturele transplantatie van de Renaissance. Galileo is echter degene die de Griekse natuurkennis weet te transformeren en daarom aan de basis van de wetenschappelijke revolutie staat.

Deze verklaringsmodellen zorgen ervoor dat de argumenten om Copernicus al dan niet als startpunt van de wetenschappelijke revolutie gezien moet worden in hun eigen licht beoordeeld worden. Waar Cohen en Vermij wijzen op de ideeën van Copernicus die als Middeleeuws gezien kunnen worden, legt Henry de nadruk op de vernieuwende elementen van Copernicus werk. Het feit dat Copernicus in eerste instantie vooral een beter model voor het verklaren en berekenen van de posities van de hemellichamen wilde creëren kan vragen oproepen over het realiteitsgehalte van zijn heliocentrische model. Aan de andere kant wijst niets in zijn tekst erop dat hij zijn model als niet reëel beschouwt. Uiteindelijk is het dus een kwestie van hoe Copernicus het beste in het gekozen verklaringsmodel past.

Hetzelfde geldt voor de rol van Galileo in het geheel. Wanneer men, zoals Henry, Copernicus als de initiator van de wetenschappelijke revolutie beschouwd, kan men Galileo onmogelijk dezelfde status aanmeten. Als Copernicus namelijk de eerste was die wiskunde gebruikte om iets over de werkelijkheid te zeggen, was Galileo automatisch niet de eerste die dit deed.

Deze kwestie toont eens te meer aan dat er verschillende interpretaties en benaderingen van van historische processen mogelijk zijn zonder dat men per definitie de juiste kan aanwijzen. De historicus ontkomt er niet aan bepaalde keuzes te maken en bepaalde gebeurtenissen te laten

prevaleren boven andere. Dit wordt nogmaals duidelijk in de vraag waarom de wetenschappelijke revolutie nu juist in Europa plaatsvond. Ook hier geven verschillende verklaringen verschillende uitkomsten. McClelland en Dorn maken gebruik van een economische verklaring, Cohen van zijn concept van culturele transplantatie. Hoewel dezeelkaar voor een groot deel niet uitsluiten treden er in het geval van de Islambeschaving toch tegenstellingen op.

Hiermee komen we terug op de vraag of de wetenschappelijke revolutie begon bij Copernicus of bij Galileo. Omdat Copernicus zijn naam heeft gegeven aan het Copernicaanse systeem waar Galileo over schreef mogen we concluderen dat de bron van de wetenschappelijke revolutie bij hem lag. Echter, het zou nog decennia duren voor het werk van Copernicus weer opgepakt werd door Galileo en Kepler. Deze keer echter zouden verdere ontwikkelingen niet zo lang op zich laten wachten. Tussen het verschijnen van Copernicus' *De Revolutionibus* en Galileo's *Dialogo* zat negentig jaar. De wetenschappelijke revolutie was na Galileo echter ruim binnen dit tijdsbestek compleet. Door de snelle opvolging van ontwikkeling in de natuurkennis na Galileo zou het logisch zijn om Galileo als begin van de revolutie te zien. Daarom kunnen we in het geval van Copernicus beter spreken van een prelude dan een wending, maar wel een prelude die uitendelijk grote gevolgen zou hebben.

Bibliografie

Primaire bronnen

Copernicus, Nicolaus, *On the revolutions* (London 1978)

Galilei, Galileo, *Dialogue concerning the two chief world systems - Ptolemaic and Copernican*
(Berkeley, California 1975)

Secundaire literatuur

Cohen, Floris, *De Herschepping van de wereld. Het ontstaan van de moderne natuurwetenschap verklaard* (Amsterdam 2008)

Finocchio, Maurice A., *Defending Copernicus and Galileo. Critical Reasoning in the Two Affairs*
(Dordrecht 2010)

Henry, John, *The Scientific Revolution and the Origins of Modern Science* (London 2008, 3e editie)

McClellan III, James E. en Harold Dorn, *Science and Technology in World History: An Introduction*
(Baltimore, Maryland 2006, 2e editie)

Vermij, Rienk, *Kleine geschiedenis van de wetenschap* (Amsterdam 2010)