

**EINDWERKSTUK ONDERZOEKSSEMINAR III: DE WETENSCHAPPELIJKE
REVOLUTIE**

Docent: prof. Dr. H. F. Cohen, Universiteit Utrecht

W. H. E. van Ewijk

3024865

W.H.E.vanEwijk@students.uu.nl

september 2009 – januari 2010

Opdracht 1: 8638 woorden

Opdracht 2: 3105 woorden

Opdracht 3: 1514 woorden

Totaal: 13.381 woorden



**Newton en zijn Principia, gezien door de
ogen van McClellan& Dorn, Cohen,
Henry, Vermij, Newton en Cotes.**

Opdracht 1:

Inleiding;

In 1687 publiceerde de jonge professor aan Trinity College van de Universiteit van Cambridge, Isaac Newton, het werk *De Principia Mathematica Philosophiae Naturalis*. In dit werk formuleerde Newton een aantal algemene bewegingswetten en presenteerde hij een wereldsysteem dat indruiste tegen de toen gangbare wereldsystemen van Descartes en Aristoteles.

De Principia van Newton wordt door verschillende wetenschapshistorici gezien als het slotstuk van de wetenschappelijke revolutie. De vraag reist hiermee wat de Principia nu daadwerkelijk heeft toegevoegd aan de bestaande vormen van natuurkennis.

In dit stuk wordt geprobeerd daar een antwoord op te vinden aan de hand van vier auteurs die daar verschillend over denken. Het gaat hierbij om Rienk Vermij met *De kleine geschiedenis van de wetenschap*, om John Henry en *The Scientific Revolution and the Origins of Modern Science*, James E. McClellan III en Harold Dorn in hun boek *Science and Technology in World History* en ten slotte H. F. Cohen met *De herschepping van de wereld*.

Dit stuk probeert naast een antwoord te vinden op de vraag wat het belang van de Principia is voor de wetenschappelijke revolutie een vergelijkend historisch werk te zijn. Er wordt ingegaan op de verschillen in verklaringen en beschrijvingen van bovenstaande auteurs. Het stuk verweeft beschrijvingen van het verloop van de wetenschapsgeschiedenis en beschrijvingen van Newton's carrière en de inhoud van de Principia, met analyses van de methode die de auteurs gebruiken.

Deze methodische analyse moet dienst doen als toets voor de historische betrouwbaarheid van de auteurs en de waarde van de informatie die ze over Newton en zijn Principia in hun werk geven. Het zou namelijk kunnen zijn dat Newton's werk slechts als illustratie word gegeven voor de invloed die Kepler op latere natuuronderzoekers had. Een auteur die een dergelijke beschrijving geeft werkt vanuit een geheel ander perspectief dan iemand die het verloop van de wetenschappelijke revolutie verklaard en Newton daarin als slotstuk ziet. Op de methodische verschillen en de gevolgen daarvan wordt specifieker ingegaan bij vraag 3.

In dit stuk komen achtereenvolgens de volgende vragen aan bod: Wat is de inhoud van de Principia? Wat bracht deze inhoud voor vernieuwing? Wat is de methode die aan de Principia ten grondslag lag? En vervolgens: Wat bracht deze methode voor vernieuwing? Ook wordt er in gegaan op de historische context waarin de Principia moet worden gezien en hoe bijvoorbeeld alchemie en religie van invloed zijn op de Principia. De rode draad in het stuk vormen de gedachten die de vier auteurs over Newton en de Principia hebben.

Ter illustratie en als een soort van historische toets worden fragmenten uit het voorwoord bij de derde druk van de Principia uit 1723 gegeven. Voor dit voorwoord is gekozen omdat Newton en zijn assistent Cotes hier doel en methode van de Principia uitleggen. Doel en methode zijn belangrijke elementen waaraan het belang, historisch en wetenschappelijk, van de Principia kan worden getoetst.

Inhoudelijke vernieuwing;

Wat bracht de Principia als inhoudelijke vernieuwing? Om deze vraag te beantwoorden moeten we allereerst concreet ingaan op wat de inhoud van de Principia zelf was. Vervolgens kan er worden ingegaan op wat deze inhoudelijke bijdrage toevoegde aan alle vormen van natuurkennis die al bestonden. Zoals we zullen zien in het hoofdstuk over de methodische vernieuwing, probeerde Newton uit de natuur doormiddel van wiskunde en experiment algemene natuurwetten af te leiden. Nu, de weg naar deze natuurwetten vormt een groot deel van de Principia. De beschrijving van de experimenten en wiskundige berekeningen ook. De wetten die er uiteindelijk uit worden afgeleid vormen de ware kern van de Principia. Hieronder worden die wetten besproken en wordt ingegaan op wat deze aan het geheel aan natuurkennis hebben toegevoegd en hoe ze dat deden.

De auteurs McClellan & Dorn gaan diep in op de opbouw en de inhoud van de Principia. Ze beschrijven hoe de Principia uit drie boeken bestaat. Alvorens deze boeken aanvangen geeft Newton drie algemene bewegingswetten. De eerste wet van Newton heeft betrekking op het traagheidsbeginsel, zoals vooral Cohen beschrijft (248). Dit houdt in dat alle bewegingen voortgaan als een eenparige beweging in een rechte lijn zolang ze hier niet van worden afgehouden. Dit idee, zo schrijft Cohen was al te vinden bij Galilei, Beeckman en Descartes, en dan met name dat zonder stoornis beweging altijd wordt volgehouden. Dit was volgens Cohen geen radicale vernieuwing, zij het dat het idee door Newton consequent werd uitgesproken, berekend, gecontroleerd en aan experimenten werd onderworpen en nu als algemene wet kon gaan gelden, in plaats van als dubbelzinnig idee zoals bij Newtons voorgangers.

McClellan & Dorn besteden aan deze wet niet heel veel aandacht en beschrijven hem kort als een van de axioma's die in het begin van de Principia worden genoemd. Als een uitgangspunt waarmee en waaruit Newton zijn andere wetten kon beredeneren en afleiden.

Ook Vermij gaat niet diep op de eerste wet in en legt vooral de nadruk op het vernieuwende van de wet van de universele gravitatie, waar we later op terug komen (98). Dit is vooral aangezien Vermij vooral het vernieuwende in het denken wilde beschrijven en de veranderingen in het natuurkundig denken hieraan ondergeschikt maakt.

Henry vervolgens gaat nauwelijks in op welke van de wetten van Newton dan ook aangezien hij vooral de rol van verschillende culturele en levensbeschouwelijke stromingen wil benadrukken in de ontwikkeling naar wat wetenschap zou worden. Hij vergelijkt visies van vele auteurs die over de wetenschappelijke revolutie en de oorsprong van moderne wetenschap geschreven hebben aan de hand van verschillende thema's: methodes van wetenschap, magie, mechanische filosofie, religie en wetenschap en wetenschap en cultuur.

De tweede wet vinden we onder meer bij Cohen beschreven als de stelling dat een kracht versnelling teweeg brengt (247). Een kracht brengt dus niet de snelheid zelf tot beweging, zoals eerder werd aangenomen door vele voorgangers van Newton, waaronder Aristoteles. Cohen benadrukt vervolgens dat er niet alleen sprake is van versnelling in de zin van toe- of afnemende afstand maar ook van verandering in richting. Een beweging in een eenparige rechte lijn staat hiermee, wat het versnellingsproces betreft, gelijk aan een beweging in een cirkel of een ellips, of een verandering van richting. Kortom, alle bewegingen in het heelal konden hiermee worden benaderd. Hiermee zien we weer de universele waarde van Newton's wetten. McClellan & Dorn benadrukken nog eens dat de kracht die verandering in snelheid teweeg brengt bovendien wordt gemeten in verandering in beweging (257).

Vanuit deze tweede wet konden er verschillende krachtwerkingen worden bestudeerd en worden bekeken. Cohen benadrukt hoe één bepaalde krachtwerking bij Newton bijzondere aandacht kreeg. Dit was die waarbij op een voorwerp een kracht, die afneemt met het kwadraat van de afstand, dit voorwerp van zijn eenparig-rechthoekige beweging doet afbuigen. Op de natuurtoestand van een voorwerp in een vrije ruimte, waar geen weerstand of aantrekkende kracht op wordt uitgeoefend, wordt nu een kracht toegepast. De eenparig-rechthoekige beweging wordt verstoord door die kracht en doet de rechthoekige beweging veranderen in een boog beweging.

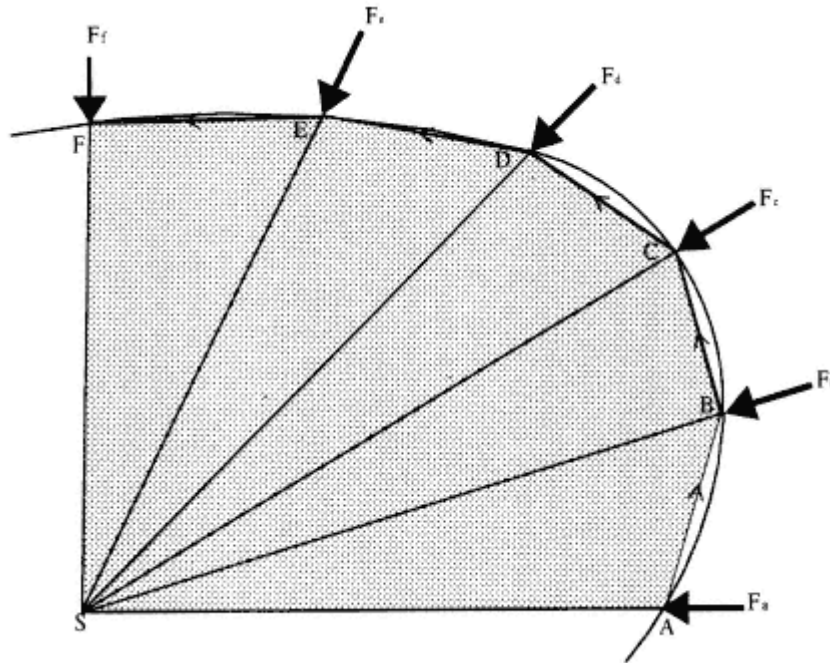
Cohen beschrijft (248) hoe hier aanvankelijk geen fysische betekenis aan werd gegeven. Het blijft aanvankelijk een abstract idee. Zoals hieronder uiteen wordt gezet, waar het over de opbouw van de drie boeken van de Principia gaat, gaat Newton in op de fysische uitwerkingen, d.w.z. de uitwerking ervan in de praktijk. Hij doet dit in boek III van de Principia, die zoals we zullen zien het systeem van de wereld behandelt. Hier worden alle abstracte bewegingswetten en andere fysische wetten aan de praktijk getoetst en demonstreert Newton doormiddel van enkele verschijnselen dat ze waar zijn.

Terug bij McClellan & Dorn zien we dat boek 1 een abstracte behandeling geeft van de beweging van lichamen in een zogenaamde vrije ruimte. (257) Dit is een ruimte waarin geen weerstand of externe krachten van invloed zijn op de beweging van lichamen.

Boek 1 bestaat vervolgens uit verschillende secties. Sectie I opent het boek door verder in te gaan op de eerste uitgangspunten van het boek (waaronder de drie bewegingswetten) en ze

preciseert deze. Ze gaat vooral in op de eerste wet, dat lichamen in een eenparig-rechte lijn bewegen. In dezelfde sectie van het boek gaat Newton in op de analytische techniek van de Principia. Newton gebruikt namelijk de calculus. Dit is een wiskundige methode die gebruik maakt van integratie en differentiatie. Omdat niet veel potentiële lezers deze techniek konden begrijpen en Newton tot de weinige van zijn tijd hoorde die hier wel vat op had, legde hij deze techniek uit doormiddel van de taal van de geometrie. De laatste was een meer gebruikte wiskundige methode.

Sectie II gaat over de bepaling van middelpuntzoekende krachten. Dit zijn krachten die vanuit een centrum uitgaan. In deze sectie bewijst Newton dat een lichaam dat om een aantrekkende centrale kracht draait, zoals bijvoorbeeld de planeten dat om de zon doen, Kepler's tweede wet gehoorzaamt. Deze tweede wet houdt in dat er in gelijke periodes gelijke oppervlaktes tussen de centrale kracht, bijvoorbeeld de zon, en het lichaam, bijvoorbeeld de planeet, bestaat. (257)



Figuur 1, een lichaam draait om een middelpunt heen en bestrijkt gelijke oppervlaktes in gelijke tijden; de tweede wet van Kepler.

Interessant is dat Newton bovendien zijn stelling in tegenovergestelde richting beschrijft: Een ronddraaiend lichaam gehoorzaamt Kepler's tweede wet, en daarom moet er wel een aantrekkende kracht werkzaam zijn. Dit moet worden gezien in het licht van Newton's methodische vernieuwing en de rol daarin van de stelselmatige terugkoppeling. Hier wordt in het hoofdstuk over de methodische vernieuwing verder in gegaan.

Intermezzo: Kepler's invloed op Newton

Newton werkt hier dus met Kepler's tweede wet en neemt deze als een hypothese in zijn onderzoek. Om hetgeen Newton in de Principia beschrijft goed te kunnen begrijpen en bovendien om de vernieuwende waarde van de Principia te kunnen duiden kunnen we niet voorbij gaan aan het werk dat Kepler heeft gedaan in het onderzoeken van de werking van het zonnestelsel.

Wat hier over Kepler wordt gezegd gaat met name over wat hij als wiskundige aan het Habsburgse hof in 1609 publiceerde: *Nieuwe astronomie, op oorzaken gebaseerd, of hemelfysica, behandeld door middel van commentaren op de bewegingen van de planeet Mars, uit de waarnemingen van de Heer Tycho Brahe te Praag op bevel en op kosten van Rudolf II, Romeins Keizer, uitgewerkt in vasthoudende, jaren vergende studie door Zijne Keizerlijke Majesteits wiskundige Joannes Kepler*. De titel van dit boek wordt ook wel aangeduid als Nova Astronomia.

We zien met Cohen dat Kepler de behoefte had om wiskunde nauwer op de realiteit te betrekken. Kepler's voorganger als astronoom aan het Habsburgse hof, Tycho Brahe, had veel werk gedaan in het onderzoeken van de hemel. Kepler ging dit empirisch testen en liet er de wiskunde op los. Hij richtte zich hierbij op de technisch-astronomische kant van de zaak. Een model van het heelal, zoals zijn voorgangers Copernicus en Tycho hadden gemaakt, moest niet alleen eenvoudig zijn maar ook exact (111).

Vermij beschrijft hoe Kepler Tycho's waarnemingen van het heelal wiskundig met berekeningen toetste. Hij ging daarbij zo ver dat hij bijna gek werd (57, 58). Uiteindelijk kwam Kepler tot de conclusie dat anders dan in het Copernicaans stelsel de planeten niet in cirkels om de zon draaiden maar in ellipsen.

McClellan & Dorn zouden zich goed kunnen vinden in deze eerste opmerkingen over Kepler van Cohen en Vermij. Ze plaatsen Kepler in het rijtje Copernicus-Tycho-Kepler. Dit is een lijn van sterrenkundigen die van het Copernicaans helocentrisch wereldbeeld uitgingen. In dit wereldbeeld draaiden planeten in cirkelvormige bewegingen om de zon. Kepler zorgde echter voor de meest doorslaggevende verandering in het Copernicaans systeem. Hieronder wordt besproken wat deze inhield en hoe hij hier toe kwam.

Cohen benadrukt dat in de titel van Kepler's belangrijkste boek de term *hemelfysica* centraal stond. Zo beschrijft ook Vermij dat Kepler niet alleen wilde beschrijven hoe het zonnestelsel werkte, zoals Tycho dit vooral deed aan de hand van talloze waarnemingen, maar ook wilde verklaren waarom de planeten op één bepaalde manier bewogen. Het willen verklaren van het systeem van de wereld en dit te willen doen aan de hand van zowel empirie en wiskunde is dus een project dat Kepler is gestart en Newton als het ware heeft afgerond (WHE). Bovendien zien we de drang het wereldsysteem te verklaren ook bij Descartes en Aristoteles terug.

Cohen benadrukt (112) bovendien hoe Kepler fysica, natuurfilosofie verenigde met wiskunde, dus de Atheense school met de Alexandrijnse. Althans zo probeerde Kepler het. In ieder geval is dit dus geen nieuw idee van Newton. Alhoewel Newton het tot een ongekend hoogtepunt bracht en op de 3^{de} transformatie een 4^{de}, 5^{de} en zelfs een 6^{de} toevoegde.

De transformaties van vormen van natuurkennis vormen een rode draad in *De herschepping van de wereld*. De transformaties komen in dit stuk vaak terug als het gaat om de visie van Cohen. Om dit goed te begrijpen is het belangrijk dat hier kort wordt ingegaan op de zes transformaties die Cohen onderscheidt.

De eerste transformatie is er een waarin de Atheense school werd verrijkt met het deeltjesdenken van Beeckman en Descartes. Werd wat de natuurfilosofie betreft aanvankelijk vooral Aristoteles bestudeerd, nu kwam er ook aandacht voor andere vormen van natuurfilosofie. Een tweede transformatie was die waarbij de Alexandrijnse, wiskundige school door vooral Kepler en Galilei werd verrijkt met praktische wiskunde. Een derde transformatie is die waarbij de empirische school, die eerst slechts aan blote waarneming deed, werd verrijkt met het opsporend experiment. In een vierde transformatie was Huygens de pionier en werd de wiskundige natuurkennis met het deeltjesdenken verrijkt. Hier kwam de Atheense met de Alexandrijnse school in aanraking. Een vijfde transformatie heeft te maken met de koppeling tussen experimenten en speculatieve filosofie in, waar wetenschappers aan de Royal Academy, als Hooke en de jonge Newton aan mee werkten. De speculatieve filosofie dienden als hypothese, de experimenten als de weg ernaar toe. De zesde transformatie werd door Newton bijna eigenhandig volbracht. Deze hield de synthese van al het voorgaande in. Experimenten, speculatieve filosofie en praktische wiskunde werden verenigd.

Nu weer terug naar Kepler. Ook Henry in zijn naar thema gerangschikte boek plaatst Kepler op een belangrijk voetstuk. Hij speelt een belangrijke rol in Henry's hoofdstuk over de methoden van wetenschap. In dit hoofdstuk toont hij het belang van Kepler aan voor de methodische vernieuwing. Hij geeft hem ook een prominente rol in het hoofdstuk over de mathematisering van het wereldbeeld. In dit hoofdstuk toont hij aan dat Kepler een grote bijdrage heeft in het op een wiskundige manier verklaren van het wereldsysteem, een punt waar Cohen het met hem eens is. En ook Henry maakt de stap van Copernicus naar Tycho en van Tycho naar Kepler.

Zo betoogt Henry (25) dat de verandering van astronomische theorieën van Copernicus naar Kepler het opheffen inhield van de strikte scheiding tussen het hemelse en het aardse. Deze scheiding voerde de boventoon in het Aristotelisch wereldbeeld dat sinds de middeleeuwen de boventoon voerde in alle discussie over natuurkennis en geleid had tot de Thomastische scholastiek. Kepler deed dit door de wiskundige te verenigen met de natuurfilosofie en niet slechts op één spoor te blijven van of het wiskundige, of de natuurfilosofie. Zoals Cohen zegt verenigde Kepler de Atheense met de Alexandrijnse school. Dit is dus alweer niet een vernieuwing van Newton zelf. Wel moet worden gezegd dat Newton door zijn voortreffelijk uitgewerkte theorie tegenstanders voorgoed de mond snoerde en de scheiding tussen het systeem van de hemel en het systeem van de aarde definitief ophief. Hier wordt in het hoofdstuk over de methode verder ingegaan.

Tussen de auteurs is overeenstemming over wat Kepler nu inhoudelijk en concreet toevoegde aan de natuurkennis. Dit zijn vooral de vijf stellingen die hij in zijn boek *Nova astronomia* uitwerkt. Ten eerste; 1. zouden alle zes planeten in een ellipsvormige baan om een stilstaande zon draaien. Dit is een breuk met het Copernicaanse idee van een cirkelbaan rond de zon; 2. De afplatting van cirkel tot ellips ontstond doordat de zon een aantrekkende kracht op de planeet uitoefende. Volgens Kepler was deze magnetisch. De kracht trekt de planeet over een deel van zijn baan aan, en over een ander deel stoot deze hem weer af. Newton gaat overigens niet zo ver dat hij verklaard wat de kracht precies inhoudt, zoals we later zullen zien; 3. De zon oefent door haar aswenteling een kracht uit die iedere planeet meesleept; 4. De verbindingslijn die je kunt trekken van de zon naar de planeet doorloopt in gelijke tijden gelijke oppervlakken; 5. De kwadraten van de baanperioden van elk willekeurig paar planeten verhouden zich als derdemachten van hun gemiddelde afstanden tot de zon. De stellingen 1, 4 en 5 zijn de drie wetten van Kepler.

Het werken met natuurwetten is dus geen novum van Newton maar van Kepler. En zoals we in dit stuk zullen zien gebruikte Newton de wetten van Kepler als uitgangspunt voor zijn eigen werk. Bij Cohen zien we dat de vijf uitspraken (114) een radicale breuk inhielden met de hele wiskundige natuurwetenschap. Alle hulpcirkels van Ptolemaeus' model werden overbodig. Keplers zonnestelsel vormt één overzichtelijk geheel, ondersteund door wiskundige berekeningen die op de natuurlijke werkelijkheid werden toegepast. Dit laatste; het trachten een overzichtelijke (eerste punt), wiskundige verklaring (tweede punt) van de werking van de natuur te geven is een novum.

Ook hier lijkt het dat de vereniging van wiskunde en natuurfilosofie geen novum is van Newton. En ook hier lijkt het dat Newton heeft voortgebouwd op het belangrijke voorwerk van Johannes Kepler. Een voorlopige conclusie die we in dit intermezzo kunnen trekken is dat Newton inhoudelijk voortbouwde op de wetten van Kepler, hij een methode bezigde waarin hij de wiskunde en fysica verenigde, zoals Kepler deed. Later zullen we zien dat Newton de empirie voortreffelijk maakte en vooral geen enkele denkstap oversloeg. Hij deed dus vooral wat Kepler had voorgedaan consequent en tot in uiterste perfectie en kon hiermee een doorslaggevende bijdrage geven aan de 4^{de}, 5^{de} en 6^{de} transformatie waar Cohen over schrijft.

Een belangrijke rol is volgens Cohen en Vermij in Keplers werk weggelegd voor God. Kepler geloofde in een wereldharmonie. Dit hield een systeem in waarin God's hand alles volgens een vast patroon had geschapen en alles met alles had laten samenhangen. Zoals Vermij zegt bevredigde een verklaring van natuurkundige principes Kepler niet. Er waren geen toevalligheden, maar de hand van God was zichtbaar. Dit was bijvoorbeeld te zien in de verhoudingen tussen de banen van de planeten die identiek waren aan de verhoudingen tussen de intervallen uit de muziektheorie. Op de rol van God in Newton's werk wordt later in dit stuk ingegaan.

De Principia; Het tweede boek en verder

Terug bij McClellan & Dorn zien we dat het tweede boek van de Principia een ander soort materie behandelt. Werd in het eerste boek nog de beweging van lichamen in een vrije ruimte bestudeerd, nu gaat Newton in op de beweging van lichamen in *resisting media*. Dat wil zeggen een situatie waarin er door een bepaald materiaal weerstand wordt uitgeoefend op een lichaam. Newton behandelt deze materialen van weerstand door in te gaan op hydrostatistieken en hydrodynamiek. Om het belang van deze behandeling te duiden moet de vraag worden gesteld : Waarom doet

Newton dit? Waarom gaat hij van krachten in het bovenmaanse over naar de aarde en het water in het bijzonder?

De behandeling van hydraulische systemen kan niet los worden gezien van Newton's wedijver met de al overleden Descartes. Zoals McClellan & Dorn het beschrijven vulde in een Cartesiaans systeem een dikke aether de kosmos en waren het de wervels in deze aether die de planeten deden rondbewegen. Dit alles lijkt op een hydrodynamisch, hydraulisch systeem. De analogie zit erin dat het water net als de aether een vaste substantie is die tussen alle lichamen inzit en hier krachten en weerstand op uitoefent. Opvallend is dat Newton voor deze resisting media een toetsbaar, empirisch materiaal als water pakt en niet blijft werken met het abstracte idee van de aether. Hier zal later uitgebreid bij stil worden gestaan. De auteurs halen op bladzijde 258 een citaat aan van Newton:

"Hence it is manifest that the planets are not carried round in corporeal vortices ... Let philosophers then see how Kepler's third law can be accounted for by vortices."

Newton wil af van de wervels uit het Cartesiaans systeem en doet dit door een meer wiskundige behandeling aan de hand van onder meer Keplers derde wet. Namelijk dat de kwadraten van de baanperioden van elk willekeurig paar planeten zich als derdemachten van hun gemiddelde afstanden tot de zon verhouden. Op een dergelijke strijd met het Cartesiaans systeem gaat ook Vermij in. Deze benadrukt de overeenkomsten tussen de titels van Newtons *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, de wiskundige beginselen van de natuurfilosofie en Descartes' *Principia Philosophiae, Beginselen van de filosofie*. (97).

Intermezzo: Descartes en zijn Principia

Het werk van Descartes was volgens Henry Newton's grote voorbeeld van hoe het niet moest. Hij wilde zich hier inhoudelijk tegen afzetten. Gaf Descartes fundamentele wetten van de mechanica, Newton deed dit ook. De laatste ging met zijn wetten echter loonrecht tegen die van Descartes in en slaagde erin daarmee die van Descartes, zoals Henry zegt, definitief te weerleggen.

Cohen is het op dit punt met Vermij eens en benadrukt eveneens de overeenkomst tussen de titels van de hoofdwerken van Descartes en Newton. Volgens Cohen is de boodschap duidelijk en kunnen er alleen wiskundig echte grondslagen voor de natuurwetenschap worden gelegd. Niet slechts verbaal en via deductie zoals Descartes dat doet. (247) Newton opent net als Descartes met zijn eigen bewegingswetten. Het handhaven van dit punt van de structuur van de boeken is een duidelijk teken dat Newton zijn wetten in de plaats van die van Descartes wilde stellen; zoals Descartes ze op zijn beurt in de plaats van het Aristoteliaans systeem wilde zetten.

Het is van belang dat we op dit punt wat verder ingaan op wat Descartes volgens de auteurs betekend heeft in de wetenschappelijke revolutie. De auteurs laten zich bovendien uit over wat de invloed van Descartes was op Newton's Principia.

Cohen plaatst Descartes in een hoofdstuk samen met Beeckman. In dit hoofdstuk houdt hij beide verantwoordelijk voor een transformatie van Athene naar Athene-plus. Hiermee plaatst hij Descartes en Newton in een reeks van zes transformaties. Uiteindelijk zou Newton betrokken zijn bij de 4^{de}, 5^{de} en 6^{de} transformatie. Descartes bewerkstelligt hier een 2^{de} transformatie. Het was een poging om de wereld niet langs wiskundige, maar langs wijsgerig weg te herscheppen (130).

Materie en ruimte zijn volgens Descartes' filosofie identiek. In het universum bestaat er een onveranderlijke totale hoeveelheid aan beweging. Het ene deeltje drukt het andere weg, en dit veroorzaakt die beweging. Descartes formuleert een aantal natuurwetten. Namelijk dat er een totale hoeveelheid van beweging in het heelal is; dat bij beweging het ene deeltje het andere wegduwt. Beweging is relatief en moet dus altijd in relatie worden gezien met de positie van een materiedeeltje ten opzichte van een ander materiedeeltje –er is immers geen lege ruimte – (Cohen, 134).

Zoals we hierboven hebben gezien komt Newton overeen met zijn voorganger Descartes dat beide het systeem van de wereld willen beschrijven. Ze doen dit beide aan de hand van natuurwetten. Dit is dus ook geen novum van Newton (WHE). Bij Cohen zien we dat de natuurwet in de tijd van Descartes Principia Philosophiae (1644) een nieuw begrip was. Hiermee probeerde Descartes het bestaan van natuurlijke wetmatigheden aan te tonen die onveranderlijk werkzaam zijn op zowel hemel als aarde. Cohen stelt dat dit het belangrijkste is wat Descartes heeft bijgedragen aan de wetenschappelijke revolutie.

Vermij vergelijkt Descartes vooral met Aristoteles. Dit is iets wat Cohen ook doet waar het gaat om Descartes' rol in de transformatie van Athene naar Athene-plus. De Atheense school werd namelijk voornamelijk gevormd door het Aristotelisch wereldbeeld. Vermij (77) stelt dat Descartes de overheersende tendens verwierp die in de wetenschap heerste kennis vooral op oude geschriften te baseren. Dit laatste was vooral de praktijk van de (voornamelijk Aristotelische) scholastici. Rede en gezond verstand waren voor Descartes belangrijk.

Descartes brak vooral met Aristoteles waar hij de doelgerichtheid van de dingen verwierp. Alles in het heelal verliep strikt causaal. Alles kwam dus voort uit een oorzaak; een materiedeeltje stoot een ander materiedeeltje aan dat daardoor weer wordt verplaatst. Een intrinsieke doelgerichtheid bestond niet in de natuur (78). Deze doelgerichtheid, het bewegen van potentie naar actuele staat is juist de essentie van het systeem van Aristoteles.

Bovendien was er sprake van een uniforme wereld. Er was geen hiërarchie tussen de zijnden, zoals bij Aristoteles. Abstracte wiskundige eenheden waren gelijk aan de werkelijke grootheden en alles was opgebouwd uit dezelfde oneindig kleine, ondeelbare materiedeeltjes. Het heelal was een wereld van wetmatigheid die geregeerd werd door natuurwetten.

Vermij en Henry benadrukken dat Descartes een belangrijke rol heeft gespeeld in het op het toneel verschijnen van de mechanische filosofie. Bij Henry heeft hij deze stroming tot perfectie gebracht (69) doordat hij alle verschijnselen heeft proberen te verklaren als concepten in een wereld van mechanica. Er werd een analogie gelegd tussen de werking van de wereld en de werking van een machine (70). Bovendien was een belangrijk element uit de mechanische filosofie de aanname dat lichamen waren gemaakt van ondeelbare kleine deeltjes, een soort atomen (72). Dit hebben we hierboven met Cohen al gezien en Descartes werkte dit systeem uit tot een sluitend geheel in zijn Principia Philosophiae.

Vermij benadrukt, eveneens als Henry en Cohen dat het mechanisch wereldbeeld niet een origineel idee was van Descartes maar al te vinden was bij Galilei, Gassendi, Beeckman en Hobbes. Descartes heeft het idee van natuurwetten hieraan toegevoegd (79). En zo zijn Vermij en Henry het eens met Cohen. Bovendien zien we dat Newton met zijn uitwerking van het systeem van de wereld en de mechanische kant van zijn wereldbeeld voortbouwt op een al veel eerder ingezette traditie.

Dat Descartes zelf ook slechts een volgende stap in een traditie van mechanische filosofie zette vinden we ook terug bij McClellan & Dorn. Bovendien plaatsen zij hem in de ontwikkeling van wetenschap van Aristoteles tot Copernicus naar Descartes en stellen ze dat hij werkte met hun wetenschappelijke erfenis. Dit is niet verwonderlijk aangezien een wetenschapper altijd voortbouwt op wat voorhanden is. De auteurs benadrukken echter dat het Cartesiaans systeem de methodes van Aristoteles en Copernicus omarmde maar alle controversiële punten hieruit elimineerde. Zo deed hij dat, zoals we hebben gezien, bijvoorbeeld met de doelgerichtheid in het systeem van Aristoteles.

Het resultaat was een compleet uitgewerkt en tot in de puntjes uitgelegd wereldsysteem dat juist een alternatief bood voor het Aristotelische. Het belang dat Descartes helemaal opnieuw begon en een eigen wereldsysteem uitdacht wordt door de auteurs hoog aangeslagen (246). Newton zag het op zijn beurt weer als een uitdaging om een dergelijke wereldsysteem zelf uit te denken. En dit dan natuurlijk beter te doen dan Descartes.

Terug naar de Principia, Boek III;

Boek III, tenslotte is het deel dat als het ware de ontknoping vormt van de Principia. Dit is het boek waarin het 'systeem van de wereld' beschreven wordt. Het is van belang om de functie van dit boek goed te begrijpen. Te meer omdat het door McClellan & Dorn al de ontknoping van het boek wordt genoemd. De vraag die hier beantwoord moet worden is: Wat wordt er in het derde boek geschreven? Wat houdt het systeem van de wereld in? En ten slotte, Wat is het belang van het derde boek?

Om op de eerste vraag in te gaan vinden we bij McClellan & Dorn een adequate beschrijving van de inhoud van Boek III (259, 260). Newton presenteert in dit boek een aantal verschijnselen in het helocentrisch zonnestelsel. Hij laat zien hoe ronddraaiende lichamen Keplers drie wetten volgen. *De drie wetten die hierboven uiteen gezet zijn.* Hij beschrijft hoe de maan rond de aarde draait, hoe satellieten rond Jupiter en Saturnus draaien. Hij gebruikt waarnemingen die gedaan zijn met dank aan de modernste technologische middelen. Uitiendelijk zal blijken dat een geocentrisch wereldbeeld, gezien deze wiskundig gecontroleerde feiten, een absoluut onmogelijk is.

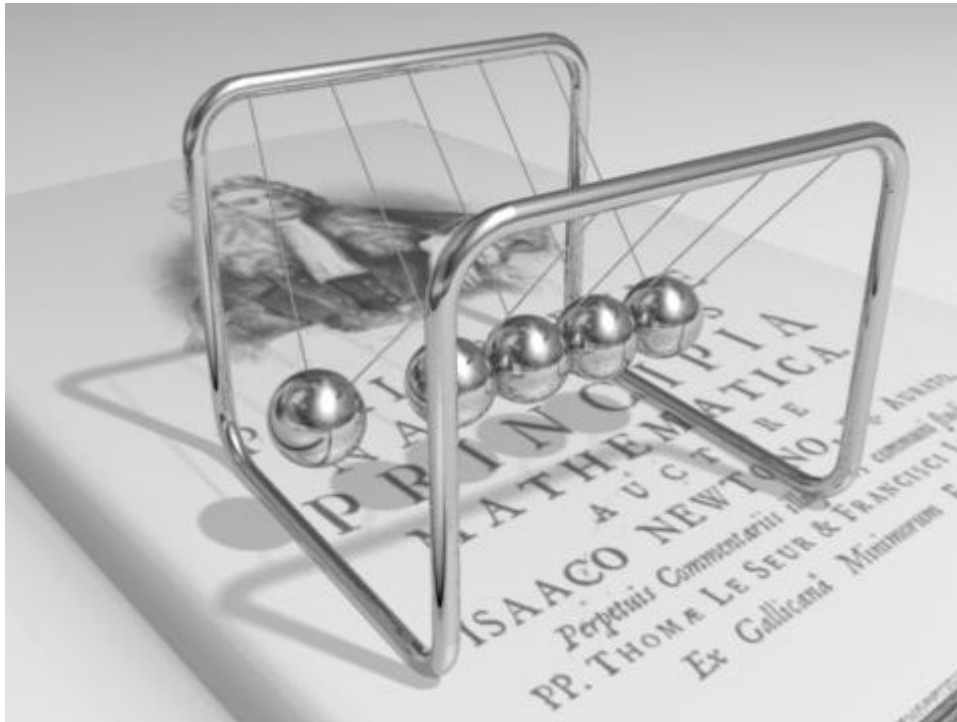
McClellan & Dorn geven een aantal dwingende bewijzen die Newton presenteert in zijn Principia als ondersteuning voor zijn systeem van de wereld. Zo zijn vooral de maan van de aarde en de waarneming van een grote komeet in 1680 de enige verschijnselen waar Newton echt adequate informatie over had om zijn mechanica van de hemel mee te ondersteunen. Deze verschijnselen ondersteunde Newtons calculaties die Keplers draaiing van de aarde en andere hemellichamen rond de zon, als $1/r^2$ (kracht die afneemt evenredig aan de afstand tot het aantrekkende lichaam).

In de rest van Boek III geeft Newton een soort agenda voor nog te volgen onderzoek. Op basis van zijn wetten zouden onder meer de preciese draaiing rond de aarde door de maan moeten worden onderzocht. Ook *astronomical perturbations*, de omtrek van de aarde, zwaartekracht en de getijden en kometen zouden moeten worden onderzocht. Onderzoek naar dit alles was volgens Newton mogelijk, met dank aan de algemene wetten die hij in de Principia had geformuleerd.

In het bovenstaande zien we dat Newton zijn theorieën toetste met behulp van de empirie. Hij gebruikte hierbij slechts enkele verschijnselen, als de baan van de maan rond de aarde en de bestudering van een komeet. Hij roeide met de riemen die hij had, en het aanbod van mogelijk te bestuderen verschijnselen was natuurlijk niet zo groot als dat nu met de huidige techniek is. Echter, hij gebruikte wel de verst ontwikkelde techniek van zijn tijd. Ook stelde hij een programma op van nog te bestuderen fenomenen om zijn theorieën mee te toetsen en was zich dus bewust van het belang van zoveel mogelijk bewijs.

McClellan & Dorn gaan wat dieper in op de rol van de bestudering van de maan voor Newton's werk (259). Zo kende Newton de afstand tussen de maan en de aarde (zo'n 60 keer de *radius* van de aarde), de tijd van de rondgang rond de aarde (een maand). Met behulp van deze gegevens berekende Newton de kracht die ten grondslag lag aan de rondgang van de maan rond de aarde. Het was kortom een sterk voorbeeld van hoe Newton's systeem van de wereld werkte en hoe de wetten van Newton in de praktijk hun toepassing vonden.

Vervolgens komen we aan bij de derde wet van Newton. McClellan & Dorn geven aan dat het inhoudt dat er voor iedere actie een gelijke tegengestelde reactie is (257). Als een voorwerp A, een kracht uitoefent op een voorwerp B, dan gaat deze kracht automatisch gepaard met een even grote kracht van voorwerp B op voorwerp A.



Figuur 2: Newton's derde wet. De actie van het linker balletje veroorzaakt een gelijke tegengestelde reactie bij het buitenste balletje rechts.

Vergelijk het met het voorwerp dat je vaak op bureau's tegenkomt en die bij besprekingen een welkome bron van afleiding zijn. Vijf metalen balletjes hangen aan touwtjes aan een geraamte. Wanneer je het buitenste balletje naar buiten trekt en vervolgens tegen het balletje ernaast laat vallen dan wordt de kracht door de drie middelste balletjes doorgegeven aan ieder ander opvolgend balletje. Het laatste balletje kan zijn kracht niet aan een ander doorgeven en beweegt naar buiten toe. Vervolgens kaatst het weer terug tegen het balletje naast hem dat de kracht weer doorgeeft en teruggeeft aan het eerste balletje. De beweging van het eerste balletje is de actie. De beweging en teruggave van kracht van het laatste balletje is de gelijke tegengestelde reactie. Zie de afbeelding hierboven.

Methodische vernieuwing;

Newton kwam tot een aantal inhoudelijke vernieuwingen. Hij wilde zijn voorgangers niet alleen inhoudelijk overtreffen maar lijkt ook methodisch anders te werk gegaan. In dit hoofdstuk wordt de vraag beantwoord : Wat was de methodische vernieuwing die aan de Principia ten grondslag lag?

Newton betoogt in zijn voorwoord bij de derde editie dat hij streeft naar de perfecte accuraatheid. Wanneer iemand met perfecte accuraatheid kan werken zou hij de meest perfecte mechanicus van allen worden. Wat bedoeld Newton hiermee?

Met Vermij zien we dat het streven naar het zijn van de beste mechanicus past in het mechanisch wereldbeeld dat werd gebruikt om de wereld te verklaren. Dit zagen we al bij Descartes. Bij Descartes waren de theorieën echter weinig duurzaam (95). Zijn mechanische filosofie beruiste op a priori veronderstellingen en werd niet getoetst aan feiten of wiskundig ondersteund. Descartes verklaarde bovendien dat het ook niet nodig was dat zijn systeem geheel met de werkelijkheid overeenkwam. Als het maar de algemene werking van het wereldsysteem verklaarde was hij in zijn doelen geslaagd.

Bij Newton werd het daarentegen een keihard wetenschappelijk feit dat hemel en aarde door dezelfde wetten geregeerd werden (98). Met de natuurwetten van Newton en enkele andere basisprocessen als uniformiteit van de wereld, de beperking tot causale processen en de verklaring op basis van natuurwetten kwam de natuurwetenschap tot een als niet te overtreffen hoogtepunt (100). Met Henry zien we echter dat Newton niet alleen het mechanisch wereldbeeld van een stevige grondslag voorzag maar bovendien in de pythagoreïsche of neoplatonische traditie stond als het ging om kosmische harmoniën (Henry, 63). Iets waar Descartes ook niet vreemd van was, maar wat voor een groot deel door religie werd ingegeven en met alchemie werd getoetst. Dit zien we ook bij Cohen terug (242) waar Newton zich op een gegeven moment stortte op het onderzoeken van het idee van de drie-eenheid en de alchemie. Hierdoor ontwikkelde Newton wel zijn 'actieve principes' die uiteindelijk in de *Principia* verder werden uitgewerkt.

Newton spreekt in zijn voorwoord bovendien het meten van zwaartekracht (5) en andere krachten volgens gegeven wetten. Het gaat hier om de krachten die ieder voorwerp of lichaam op een ander uitwerkt en zo beweging tot stand brengen, de derde wet van Newton, die bepaalde dat kracht elke materiedeeltje een ander materiedeeltje aantrekt. De gegeven wetten zijn de wiskundige wetten. Wat dit betreft zijn veel auteurs het erover eens dat Newton in het bijzonder verdienstelijk is geweest in het uitwerken van een natuurkundig werk dat natuurwetten toetste aan wiskunde en empirie.

We zien bij alle auteurs en bij Newton zelf dat hij in de *Principia* ernaar streefde algemene wetten te formuleren die de wereld moesten verklaren. Hiermee kwam hij bovendien tot wetten die voor hemel en aarde gelijk waren. Zoals we eerder zagen met Vermij (98) werd het bij Newton door deze wetten wetenschappelijk bewezen dat hemel en aarde door dezelfde principes geregeerd werden. De valbeweging van Galilei, die al voor hemel en aarde zou gelden, werd wiskundig beschreven. Dit is die verdienste van Newton die we ook terugzien bij Henry als hij beschrijft (112) dat de *Principia* de nieuwe wiskundige manier van het bedrijven van natuurkunde is. Zowel Cohen (247) als McClellan & Dorn (257) benadrukken dat Newton's boek enerzijds wordt begonnen met algemene bewegingswetten en de uitleg van begrippen. Het feit dat Newton het hier niet bij laat en niet slechts vanuit die wetten gaat redeneren, zoals Descartes dat deed, maar het geheel wiskundig en experimenteel toetst is zijn grote verdienste geweest.

Dit laatste wordt onder meer ondersteund door Cohen die schrijft dat Newton bij het afleiden van de universele gravitatie, uit de tweede wet van Kepler, de krachtwerking als $1/r^2$ presenteert, nog de mogelijkheid open laat dat er andere vormen van krachtwerking zijn en hij deze vormen ook aan onderzoek onderwerpt (249). Het echt vernieuwende van de *Principia* lag er volgens Cohen dan ook in dat Newton het abstracte idee van krachtwerking een fysische belichaming gaf, zoals eerder gezegd. De fysische belichaming bestond uit experimenten en zowel de fysische als abstracte kant werden door wiskunde aan een gebonden. Newton zou geen één denkstap over hebben geslagen en met constante terugkoppeling hebben gewerkt (252).

Bij McClellan & Dorn vinden we een sterke rol voor het experiment bij het bewijs. Newton's mechanica van de hemellichamen zijn gebaseerd op de maan van de aarde. Dit was het enige hemellichaam waarvan hij adequate gegevens had (259). En ook hiermee wordt het belang van Newton's streven naar perfecte adequaatheid (uit zijn voorwoord) duidelijk. En nogmaals worden hier hemel, maan, en aarde verenigd in algemene wiskundige natuurwetten en het debat over het verschil ertussen gesloten.

Een belangrijk citaat is bovendien het volgende, waar Newton een reden geeft waarom hij in zijn werk of wiskundige principes van de filosofie spreekt: *For all the difficulty of philosophy seems to consist in this, from the phaenomena of motions to investigate the forces of nature, and then from these forces to demonstrate the other phaenomena.* Hier zien we het beeld terug van een Newton die in zijn *Principia* van de natuur uitgaat, hier algemeenheden uit formuleert, deze wiskundig toetst en ze weer terugkoppelt naar de natuur.

Wat de wiskunde betreft gebruikte Newton de geometrie. Newton geeft in zijn voorwoord aan dat de geometrie niet leert de lijnen te tekenen maar de voorwaarden schept waarop ze getekend kunnen worden. *To describe right Lines and circles are problems, but not geometrical problems. The solution of these problems is required from mechanics, and by geometry the use of them, when so solved is shown.* (2) Geometrie is dus een methode die Newton gebruikte om problemen in de mechanica van de wereld op te lossen. Newton gebruikte volgens McClellan & Dorn de geometrie

omdat bijna alleen hij de calculus kende en geen methode wilde gebruiken die niemand begreep, zoals hierboven uitgelegd (257). *Mechanica* daarentegen is waar het echt om gaat. In de mechanische praktijk is bovendien de geometrie ook gevestigd en bestaat voor het geheel uit de kunst van het meten. En hier is weer dat meten dat het experimenteren en het controleren samen brengt.

De rol van alchemie en religie in de Principia;

Hierboven is een ontwikkeling uiteengezet richting de voltooiing van de wetenschappelijke revolutie. Voor hier een oordeel over te vellen is het goed om te bespreken wat auteurs zeggen over minder rationele en wetenschappelijke invloeden die hebben geleid tot het schrijven van en die vertegenwoordigd zijn in de *Principia*; alchemie en religie.

McClellan & Dorn beschrijven de achtergrond van Newton als godsdienstig man. Dat godsdienst overigens een grote rol speelde in het leven en de persoonlijke opvattingen van Europeanen in de 17^{de} en 18^{de} eeuw is overigens niet vreemd. Zelfs het latere verlichtingsdenken sloot een God niet uit, wat ook Henry bevestigd. Ook alchemie was wijdverbreid en verweven met de experimentele traditie die door natuurfilosofen werd bedreven.

De auteurs (260) wijzen erop dat de eerste editie van de *Principia* begon met een alchemistisch commentaar op sappen die in een aardse substantie overgingen door 'langzame hitte'. In 1713 voegde Newton godsdienstig commentaar toe aan de *Principia* in een zogenaamd Algemeen Scholium. Hij sprak van God als het alwetend en almachtig wezen dat zich manifesteerde in het volmaakte systeem van de zon, planeten en kometen. Newton's natuurlijke filosofie bracht hem tot natuurlijke theologie. Dit hield in dat Newton God zag als horlogemaker. God keek toe op de wereld die volgens zijn natuurwetten was gemaakt.

In dit godsdienstig kader moeten we ook, volgens McClellan & Dorn de onverklaarbare krachten zien die in Newton's *Principia* een rol spelen. Het Scholium eindigde door te spreken over een *subtle spirit*, die in correlatie werkte met licht, hitte, cohesie, elektriciteit, fysiologie en sensatie. Wat houden deze fenomenen in en hoe werken ze? Ook Newton gaf hier geen uitleg aan want zo schreef hij; deze fenomenen konden niet slechts met een paar woorden worden uitgelegd.

Hij sprak hierbij niet over de oorzaak van de zwaartekracht en bleef hiermee in occulte sferen hangen. Zo zien we ook bij Vermij dat juist Newton's afkeer van Descartes te verklaren valt als ingegeven door diens afkeer van Descartes' materialistische visie op de wereld.

Henry (64) benadrukt het belang van de rol van magie en religie in het werk van Newton. Hij haalt Dobbs en Westfall aan dat Newton's bereidheid om juist de aantrekking van lichamen op occulte krachten van aantrekking en afstoting te laten rusten vanuit zijn godsdienstig wereldbeeld komt. Hij wilde ze niet verklaren maar vond het voldoende aan te tonen dat ze bestonden. Niet alles was terug te brengen tot materie.

Zo waren (Henry, 89) begrippen als ruimte en tijd voor Newton manifestaties van God. Dit moet worden begrepen in het neoplatonisch gedachtegoed. Ruimte en tijd waren afspiegelingen van het idee God. Bovendien duidde het op de immensheid van de wereld en kan er worden gerefereerd aan Handelingen 17:28; "In Hem leven we, bewegen we en bestaan we." Deze passage werd door Newton vrijwel letterlijk genomen en vertaald in een absoluut begrip van ruimte. Dit begrip was niet gegeven door zijn geometrische analyse van het systeem van de wereld en zou hier niet eens noodzakelijk voor zijn geweest. Het begrip van ruimte was kortom gegeven door Newton's Godsbeeld.

Cohen ontkent de invloed van alchemie en religie op Newton's *Principia* niet in het minst. Gaan zijn collega auteurs vooral in op wat het inhoudelijk heeft toegevoegd aan de *Principia*, Cohen benadrukt een andere invloed. Juist het feit dat Newton een alchemist was en zich lang met alchemistische ideeën heeft beziggehouden leidde ertoe dat hij een andere weg in sloeg met de *Principia*. Het proces daartoe wordt hieronder beschreven.

Newton stond, waar het de alchemistische ideeën betreft onder invloed van Hooke en Boyle, leden van de Royal Academy of Science. Het werken met alchemistische ideeën en het doen van alchemistische experimenten was niet ongevoel in het Europa van die tijd.

De jonge Newton probeerde een samenhangende leer van bewegingsregels op te stellen. Hij ging hiermee door op wat Hooke beschreef als een aether waarin actieve principes en zeer kleine deeltjes van invloed waren op beweging en weerstand. Newton wilde het niet bij de abstracte ideeën laten en ging experimenteren. Hij deed dit door juist datgene te onderzoeken wat het minst wees op het bestaan van een dergelijke aether en deeltjeswereld. Zie dit in het licht van Newton's methodiek van stelselmatige terugkoppeling. Zoals hij ook zijn theorie van krachtwerking onderzocht door alle andere vormen van krachtwerking te bestuderen en ze daardoor uit kon sluiten. Juist doordat Newton in de alchemistische ideeën van Hooke geloofde ging hij deze onderzoeken. Hij wilde ze bewijzen en de theorie erover uitwerken. Maar juist met de poging haar te bewijzen en uit te werken kwam hij tot de conclusie dat de theorie niet houdbaar was.

Newton bestudeerde stelselmatig alchemistische literatuur en deed honderden alchemistische experimenten. Juist doordat Newton heel ver doorging op alchemistische ideeën als aether en deeltjes in beweging, bracht hem tot het idee dat deze ideeën niet volstonden om de wereld naar waarheid te verklaren (243).

Newton kwam tot het vermoeden dat op de materie in zijn alchemistische experimenten krachten aan het werk waren. Er zouden krachten zijn die een regelmatige werking hadden, altijd op een zelfde manier werkten, en dus aan wiskundige wetten te onderwerpen waren. Dit was bij de vage principes als aether en actieve principes niet het geval. De doorslag gaf (244) een experiment waaruit bleek dat op de binnenkant van een slingerende metalen doos geen weerstand werd uitgeoefend. In de afgesloten doos was dus geen substantie. Een stof die in de doos zou zitten, zou de aether kunnen zijn. Deze zou door het slingeren in beweging worden gebracht en daardoor weerstand uit kon oefenen op de binnenkant van de doos. Nu er geen weerstand was uitgeoefend kon de aether waarschijnlijk niet bestaan.

Het belang van de Principia volgens Newton, Cotes en auteurs;

Inmiddels is beschreven hoe Newton's streven naar perfecte accuraatheid tot een aantal natuurwetten kwam die wiskundig en experimenteel getoetst en ongekend nauwkeurig uitgewerkt werden. Aan het schrijven van de Principia lagen echter nog andere motivaties ten grondslag, waaronder enkele concrete ambities, maar ook dieper liggende beweegredenen. Deze worden hieronder besproken.

In de eerste plaats was de methodische vernieuwing van Newton niet los te zien van zijn ambitie daartoe. Hij wilde echt vernieuwen, zo blijkt ook uit zijn voorwoord. In duidelijke bewoordingen maakt hij een onderscheid tussen de oude en de modernen, waarbij de ouden weliswaar een grote bijdrage hebben gegeven aan de wetenschap van mechanica door haar toe te passen op de natuur, de modernen hebben het occulte afgeschud en de natuur aan de wetten van de wiskunde onderworpen. Vervolgens beschrijft Newton dat hij, nogmaals, de perfecte accuraatheid wil bereiken.

Cotes is alweer feller, bij de latere derde druk, waar hij voor Newton lijkt te spreken als hij onderscheid maakt tussen drie klassen van filosofen. De eerste klasse, waar Aristoteles toe behoort, beschrijft dat eigenschappen van lichamen voortkomen uit de specifieke natuur ervan. Maar waar die specifieke natuur dan weer uit voortkomt wordt door hen niet duidelijk gemaakt, aldus Cotes. Het is dus een woordenspel: *a useless heap of words*.

Een andere klasse echter legt deze hoop woorden naast zich neer en leidt uit de eenvoudige zaken meer gecompliceerde zaken af en klimt zo op tot hogere waarheden. Cotes noemt het niet, maar hij zal hierbij zeker hebben gedacht aan Leibnitz, met wie Newton in polemie was. Leibnitz was een leerling van Huygens die, zoals gezien, deeltjesdenken verenigde met praktische wiskunde. Maar deze klasse, zo zegt Cotes blijft hangen in dromen en gaat niet uit

van de zaken zelf, maar van afleidingen daarvan. Voor men van ware wetenschap kon spreken, moest er meer gebeuren.

De derde klasse is dan uiteindelijk de ideale, en wel de klasse van de experimentele filosofie. Deze klasse neemt niets aan als principe zolang het niet bij fenomenen, feiten en verschijnselen, is verklaard. Er wordt geen hypothese gesteld totdat de waarheid onomstotelijk vaststaat. Ze werkt, zoals we hebben gezien, synthetisch en analytisch. Deze manier van filosofie bedrijven vormt het ideaal volgens Cotes, en aannemelijk ook volgens Newton.

Wat opvalt is dat zowel Cotes als Newton spreken van de Principia als een filosofie. Het onderscheid tussen natuurfilosofie en natuurwetenschap wordt hier niet gemaakt. En dat terwijl Newton's Principia door auteurs wordt beschouwt als de voltooiing van de wetenschappelijke revolutie en als een eerste voorbeeld van wetenschap. Is dit beeld wel juist? En waarom beweren auteurs dat dit de voltooiing van de wetenschappelijke revolutie was? Waarom zou de Principia wel of geen wetenschap genoemd kunnen worden? En in hoeverre overtrof Newton met de Principia zijn voorgangers, de oude filosofische klassen?

Vermij, Cohen, Henry, McClellan & Dorn, allen lijken het eens te zijn dat Newton met de Principia iets nieuws bracht en iets dat we de wetenschappelijke revolutie kunnen noemen voltooidde. De auteurs geven echter nuanceverschillen aan bij wat de essentiële vernieuwing van de Principia was.

Vooraf Vermij en Cohen lijken het met elkaar eens te zijn dat Newton de eerste beginselen waaruit natuurlijke verschijnselen verklaart dienen te worden had afgeschaft en er een systeem van opsporing, met behulp van de wiskunde en het experiment voor in de plaats had gesteld (Vermij, 99). Vermij onderscheidt hierbij basisprocessen als de uniformiteit van de wereld, dus het streven naar algemeenheid, de beperking tot causale processen en de verklaring op basis van natuurwetten (100). Cohen formuleert hoe Newton zijn krachtwerking bewees door juist het abstracte en de fysische werkelijkheid met elkaar te vergelijken en ze tot in detail door te denken en vast te nagelen doormiddel van wiskunde en experiment. De nadruk op de werkwijze en het verenigen van het abstracte met de fysische werkelijkheid heeft vooral te maken met Cohen's verhaal dat vooral langs twee sporen gaat, namelijk die van de Atheense school, gekenmerkt door een geabstraheerd wereldbeeld en a priori veronderstellingen, en de Alexandrijnse, gekenmerkt door wiskundige toetsing, waar later als derde groep de experimentele 'school' bij kwam. Geen van deze scholen wist een hoogtepunt te bereiken, wat later wetenschappelijk werd genoemd, maar Newton lukte dit wel. Hiermee kwam de wetenschappelijke revolutie dan ook tot voltooiing. Zoals ook Vermij stelt dat met Newton een niet te overtreffen hoogtepunt was bereikt (100).

McClellan & Dorn leggen vooral de nadruk op de rol van het experiment en het bewijs in de Principia. Deze rol van het experiment en het bewijs verenigde de hemel en aarde door ze te onderwerpen aan dezelfde algemene natuurwetten. Hiermee werd het debat over de verschillen tussen de werking van het onder- en het bovenmaanse beëindigd. Hier maakte hij geen onderscheid tussen observaties van de hemel of bevindingen op aarde, zolang de feiten en uitkomsten van experimenten hem hier geen suggestie toe gaven. Het is dus deze open opstelling en het gebruik van het experimenteel bewijs (263) die voor de grote wetenschappelijke waarde van de Principia hebben gezorgd. De nadruk bij McClellan & Dorn ligt hiermee dus, meer dan bij andere auteurs op het experimentele. Zoals de auteurs zeggen was de Principia hiermee het einde van een lijn van natuurfilosofieën vanaf Descartes, Galileo, Kepler, Copernicus en Aristoteles. Hij voltooidde de wetenschappelijke revolutie en zette bovendien de agenda voor wetenschappelijk onderzoek en astronomie, mechanica, optica en vele andere wetenschappen.

Bij Henry vinden we de meest onderscheidende kijk op het belang van de Principia. Voordat we hier op ingaan moet het volgende worden beschouwd. Hierboven hebben we gezien dat de Principia gevolg was van een methodologische vernieuwing en een inhoudelijke vernieuwing bracht. Met Newton, Cotes, Vermij, Cohen en McClellan & Dorn lijkt hier bijna een ideologisch programma aan ten grondslag te liggen. Zij het de Baconiaanse methode of het protestantisme dat tot een uiterst nauwkeurige werkwijze hebben geleid, wat we vooral met Cohen en Vermij zien, en voltooid is met Newton.

Of is het Cotes afkeuring van de oude filosofische klassen, die bijna uitgesproken worden neergezet als lagere klassen? Hoewel de auteurs genuanceerd blijven, en niet zeggen dat Newton een vernieuwingsagenda had lijkt het hier soms wel op. Dit kan op methodes lijken met teleologische trekjes, wat op zich niet verwonderlijk is aangezien vrijwel alle auteurs het er over eens zijn dat Newton tot een hoogtepunt kwam dat als de afronding van iets als de wetenschappelijke revolutie genoemd kan worden.

Bij Henry speelt de vraag of er sprake is van een wetenschappelijke revolutie niet zo'n grote rol als bij zijn collegae. Doordat hij ontwikkelingen, verschijnselen en sleutelfiguren in de wetenschappelijke revolutie aan verschillende thema's wil toetsen komt hij tot een aantal interessante conclusies. Henry stelt de inhoudelijke vernieuwing die de Principia bracht niet ter discussie. Wel geeft hij aan dat Newton onder grote invloed stond van het magische en het religieuze en dit hem ook heeft geïnspireerd bij het schrijven van de Principia.

Conclusies;

Inhoudelijk is de Principia van Newton vooral een vernieuwing waar het de drie algemene bewegingswetten geeft en de wet van de universele gravitatie formuleert. Waar Newton in sectie II van Boek I spreekt van lichamen die om een centrale aantrekkende en afstotende kracht draaien, zoals planeten dat om de zon doen, bouwt Newton voort op de tweede wet van Kepler. Newton heeft dus inhoudelijk voor een grote vernieuwing gezorgd.

De inhoudelijke vernieuwing is niet het grootste belang dat van de Principia uit gaat. In de geschiedenis van de natuurkennis zijn er talloze natuurfilosofen geweest die met nieuwe ideeën kwamen. De nieuwheid van de ideeën maakt ze nog niet automatisch meer waar.

Belang moet worden gehecht aan de methodische vooruitgang van de Principia. Deze is in hoofdstuk 1 en hoofdstuk 3 van dit stuk besproken. Hier zagen we dat Newton net als onder meer Kepler en Descartes een zogenaamd wereldsysteem wilde formuleren. Het ging hierbij om de ambitie een compleet systeem te ontwerpen waarmee de werking van de gehele natuur kon worden verklaard. Newton deed dit een stuk beter dan zijn voorgangers.

Bij Newton nam de natuurfilosofie de rol aan van hypothesen die door de formulering van natuurwetten werd ondersteund. Met behulp van wiskundige berekeningen en empirische toetsing controleerde Newton dit alles weer. Wat de wiskundige toetsing betreft is vooral Kepler van invloed geweest op Newton. Wat de natuurwetten betreft moeten we vooral rekening houden met de invloed van Descartes. Op deze punten heeft Newton dus op zich geen vernieuwing gebracht.

Hij was wel zeer vernieuwend in zijn capaciteit de wiskundige toetsing, formulering van natuurwetten en empirische controle te verenigen. Hierbij valt bovendien de grote precisie en discipline op waarmee Newton te werk ging. Deze heeft deels met Newton's karakter te maken, maar ook met de Baconiaanse cultuur die in natuuronderzoekend Engeland heerste.

Newton verenigde dus alle drie de vormen van natuurkennis die we bij Cohen zien en voegde hieraan een werkwijze van uiterste precisie en stelselmatige terugkoppeling aan toe. Volgens vele auteurs voltooide hij hiermee de wetenschappelijke revolutie.

Dat er sprake zou zijn van een wetenschappelijk en puur rationeel wereldbeeld is hiermee nog niet gezegd. De invloed van religie en alchemie op Newton waren onmiskenbaar. Zijn methodiek, die we achteraf wetenschappelijk noemen, deed geen afbreuk aan Newton's geloof in God. Juist het wereldsysteem dat Newton formuleerde bevestigde Newton's visie van tijd en ruimte als vertegenwoordiging van de alwetende en almachtige God. Ook bleef de aard van de krachten die de drijvende kracht waren in Newton's systeem een raadsel. Bovendien waren deze raadselachtige krachten ingegeven door Newton's religieuze kijk op de wereld en de talloze alchemistische geschriften die hem tot het vroegste onderzoek dat aan het schrijven van de Principia ten grondslag lag, hebben geïnspireerd.

De methodiek van Newton die aan irrationele speculaties voorbij ging en ernaar streefde een consistent wereldsysteem te formuleren, onderworpen aan empirische controle, wiskundige berekeningen en stelselmatige terugkoppeling, is het essentiële belang van de *Principia Mathematica philosophiae naturalis*.

W. H. E. van Ewijk, Utrecht, januari 2010

Opdracht 2:

Beschrijvingen;

McClellan & Dorn bespreken de wetenschapsgeschiedenis in het niet-Westen in deel II van hun boek met de titel: *Thinking and Doing among the World's Peoples*. Ze bespreken achtereenvolgens de beschavingen van de Islam, van China, de Indus en de Ganges, en de nieuwe wereld.

McClellan & Dorn spreken van de hellenisatie van de Islamitische beschaving en natuurkennis. De Grieken zouden van grote invloed zijn geweest op de Islam. De Islam had veel van de natuurkennis van de Grieken overgenomen en bouwde hierop voort.

Een belangrijk punt in de beschrijving van de auteurs is dat ze benadrukken dat de Indische wetenschap meer invloed op de Islamitische heeft gehad dan de Griekse in de vroege fase van de Islamitische beschaving. Er was een vertaalslag van Indische astronomische en wiskundige teksten van het Sanskriet naar het Arabisch. Later ontstond er vooral een vertaalslag van het Grieks naar het Arabisch. Cohen schrijft niet over de vertaalslag van het Indisch naar het Arabisch. Wel spreekt hij van vertaalslagen in het algemeen en van die van het Grieks naar het Arabisch in het bijzonder. Over het waarom hiervan komen we later in dit stuk te spreken.

McClellan & Dorn spreken bovendien van de Chinese alchemie die voor een groot deel is overgenomen door de Islamitische beschaving. De alchemie van de Islam was technisch zeer ver gevorderd en bovendien zeer intellectueel. Hier heeft de eigentijdse wetenschap nog termen aan te danken als alchemie zelf, alcohol, algebra en algoritme.

Een neergang van de wetenschappelijke bloei van de Islam verklaren de auteurs door te wijzen op een systeem van opkomst en neergang. Rond het jaar 1000 zou de Islamitische wetenschap haar gouden tijdperk doormaken en het hoogste niveau van creativiteit en origineel werk kennen. Redenen voor het verval zouden de opkomst van Islamitisch conservatisme, het verdwijnen van geestelijke vrijheid door een compleet doorgevoerde bekering, oorlogen en economische neergang zijn.

De grote verdienste van de Islamitische wetenschap is volgens de auteurs dat haar kennis en vaardigheid is overgenomen door observatoria, bibliotheken, en allerlei andere instituten. De kennis bleef lang bewaard dus, maar kwam niet tot verdere ontwikkeling.

De grote vraag die we ons hier moeten stellen is of de Islambeschaving gezien de grote rol die ze speelden in de West-Europese ontwikkeling van natuurkennis wel tot de niet-westerse gerekend moet worden. Bijna alles is westers aan de natuurkennis in de Islambeschaving. Haar oorsprong in de Atheense en Alexandrijnse natuurkennis, haar geografische ligging, Alexandrië lag in Egypte, Turkije had Istanbul, de Balkan lag ten noordwesten van Athene en Spanje was West-Europa. En bovendien heeft de Islambeschaving haar kennis weer via culturele transplantaties en vertaling verkregen uit Griekenland en doorgegeven aan West-Europa. Ik pleit er voorzichtig voor dat de Islambeschaving gewoonweg onderdeel is, en bovendien cruciaal is van en voor de West-Europese natuurkennis.

Aan de Chinese beschaving wordt de uitvinding van het buskruit, onder invloed van alchemie toegeschreven. Net als bij Cohen wordt de naar binnen gekeerdheid van de Chinese politiek benadrukt en het feit dat de Chinezen daarom weinig invloed hadden op de westerse wetenschap. Blijkbaar hadden de Chinezen wel invloed op de Islambeschaving en op de technische ontwikkeling. Dit zien we waar het gaat om de vertaalslag van het Chinees naar het Arabisch en de uitvinding van het buskruit. McClellan & Dorn richten zich in hun werk bovendien voor een groot deel op de beschrijving van de geschiedenis van de techniek. Dit zegt echter weinig over de invloed van de Chinezen op de wetenschappelijke methodes, laat staan op de invloed op de ontwikkeling van de westerse natuurwetenschap.

De auteurs beschrijven dat het westers concept van wetenschap vreemd bleef voor het Chinees intellectueel denken. Het gaat hier om de wetenschap die zich in het Westen ontwikkelde naar gelang de wetenschappelijke revolutie zich voltrok. De Chinezen hadden een totaal andere manier

van denken. Ze gingen uit van een sterk conceptueel wereldbeeld waarin cycli, yin en yang en de afwisseling van verschillende fases een rol speelden.

McClellan & Dorn beschrijven vervolgens nog twee beschavingen: de Indus, Ganges en verder, en de nieuwe wereld. De beschrijvingen van deze beschavingen loopt vrijwel analoog met die van de eerste twee. Hieronder wordt daar nog kort op in gegaan.

Er was wat de Indus en de Ganges betreft sprake van een typisch bureaucratische samenleving. De noodzaak voor deze bureaucratie kwam voort uit agriculturele en economische belangen als de organisatie van irrigatie, agricultuur. Hiervoor werd een systeem ontwikkeld van politieke centralisatie, sociale stratificatie en urbane civilisatie.

De kaste van de Brahmanen controleerden het onderwijs. Dit hadden ze gemonopoliseerd en het diende tot het algemeen nut. Dit was bijvoorbeeld het technisch nut, en de verbetering van irrigatietechnieken. Artsen hadden een hoge status. Ook de gezondheidszorg viel onder het algemeen nut.

De belangrijkste wetenschappen waarin werd gedoceed waren linguïstiek en grammatica. Een kleinere groep richtte zich op astronomie en wiskunde. Deze wetenschappen waren echter van ondergeschikt belang. India was meer open voor buitenlandse culturen dan China. Dit zegt echter nog niks over de invloed die India had op de latere westerse wetenschap.

De beschavingen in de nieuwe wereld hielden zich vooral bezig met astrologie, astronomie, geletterdheid, numeristiek, bouwkunde en medicijnen. De overeenkomsten met vooral de beschavingen van de Indus en de Ganges zijn opvallend. Ook hier werd de wetenschap en technologische ontwikkeling van bovenaf geregisseerd, en ook hier stonden wetenschap en technologische ontwikkeling ten dienste van het algemeen nut als hierboven beschreven.

Verklaringen;

Volgens McClellan & Dorn slaagden de Chinezen er niet in invloed uit te oefenen op de westerse wetenschap. Dit heeft een aantal redenen die in deze paragraaf worden besproken. **1.** De Chinese taal leende zich er niet voor, was onbegrijpelijk en niet efficiënt, leende zich niet voor de genuanceerde formuleringen die nodig waren om tot een hoog niveau van wetenschap te komen. **2.** De Chinese manier van denken was naar analogie en metaforen. Een pure analyse vol vraagstellingen en kritiek kon hier niet in worden uitgedrukt. Dit is overigens wel iets dat Cohen beschrijft, waar hij ingaat op onder meer het ying yang denken, maar niet iets waar Cohen doorslaggevende betekenis aan geeft waar het gaat om het gebrek aan invloed van Chinese wetenschappers op de westerse. **3.** De wetenschappelijke scholen van de mohisten, die zich aanvankelijk concentreerde op politieke zaken, vervolgens overging in de de logisten, die werkten met logica, empirie, deductie en inductie werden onderdrukt. Deze laatste zou echter net zo goed hebben kunnen leiden tot een wetenschappelijke opleving zoals die later in het Westen plaats had. De legalisten waren op zoek naar een universele wetcode. Ze klassificeerden en quantificeerden. Als ze politiek sterker waren geweest hadden ook ze voor een wetenschappelijke opleving kunnen zorgen volgens McClellan & Dorn.

Het ging dus deels om een gebrek aan wetenschappelijk niveau, of een val en tegenhouden daarvan dat ervoor heeft gezorgd dat de Chinezen geen invloed hadden op de Europeanen. Bovendien kon de Han dynastie de strikte werkwijze van de legalisten niet gebruiken bij het ondersteunen van hun centrale macht. De meer gangbare en gematigde, minder wetenschappelijke filosofieën van het taoïsme en het confucianisme wonnen hierdoor plaats onder het Han regime. Net als bij Cohen zien we dus dat de drang van de Han dynastie haar macht te legaliseren, en eenheid te behouden in het land, de wetenschappelijke ontwikkeling onderdrukte.

Cohen gaat in op de islambeschaving en op de ontwikkelingen in China. Hij gaat niet in op de ontwikkelingen in beschavingen als de Indus en de Ganges en de nieuwe wereld zoals McClellan & Dorn doen. De auteurs maken een keuze en stellen prioriteiten. Bij Cohen heeft zijn keuze voor de islam en China te maken met zijn verklaringsmodel.

Kort gezegd: de islam beschaving is een uitstekend voorbeeld van een beschaving die iets heeft toegevoegd aan een lange ontwikkeling van de wetenschap, waar culturele transplantatie effect op heeft gehad, en waarvan de nieuwe toegevoegde kennis weer onderwerp is geweest van culturele transplantatie. Op deze manier is de islamitische kennis van invloed geweest op de westerse ontwikkeling van wetenschap. Dit is slechts een tipje van de sluier, hieronder wordt daar een stuk dieper op ingegaan.

De islambeschaving en haar kennis had bovendien een ontwikkelingspotentieel dat de Chinese beschaving en kennis niet had. Dit ontwikkelingspotentieel is een ander sleutelbegrip in het verklaringmodel van Cohen. Nu beide begrippen zijn geïntroduceerd is het tijd om het verklaringmodel uiteen te zetten.

Cohen bespreekt hoe beschavingen elkaar kunnen bevruchten. Dit kan doordat stimulerende gebeurtenissen vernieuwing of zelfs transformatie van cultuurgoederen bevorderen. Een samenhangend geheel van opvattingen, begrippen en praktijken vind dan vruchtbare bodem in een andere beschaving en wordt door de oorspronkelijke beschaving in de nieuwe overgeplant.

Cohen stelt dat het geschiedverloop ervoor heeft gezorgd dat de gebeurtenissen die tot dergelijke culturele transformatie moesten leiden zich nooit hebben voorgedaan in de Chinese geschiedenis. Dit geschiedverloop is een derde element dat nodig is voor de culturele transformatie. Het geschiedverloop van de Chinese beschaving heeft te maken met een zekere naar binnen gekeertheid. De Chinezen waren er vooral op gericht om het centrale gezag te versterken en te legitimeren.

Dit zagen we ook bij McClellan & Dorn. Ze zien anders dan Cohen wel een ontwikkelingspotentieel bij de legalisten. Maar zoals we hebben gezien waren deze politiek niet sterk genoeg. En daar zijn McClellan & Dorn het weer eens met Cohen waar het gaat om het machts- en continuïteitsstreven van de Han-dynastie.

Er was in de geschiedenis van de Chinese natuurkennis een sterke continuïteit. Er was geen noodzaak tot vernieuwing. Sterker nog, de heersende opvattingen en vormen van natuurkennis deden juist dienst om de Han-dynastie te rechtvaardigen en rust, stabiliteit en eenheid te bespoedigen in het grote gecentraliseerde Chinese rijk. Het denken bleef door het gebrek aan de noodzaak van vernieuwing en de aanwezigheid van noodzaak aan continuïteit in een kringetje ronddraaien.

Bovendien hebben culturele transplantatie vaak plaats als gevolg van militaire gebeurtenissen. Zo werd Griekse natuurkennis in Bagdad geïntroduceerd na verovering ervan door kaliefen rond 760 n. C. De Spaanse reconquista zorgde voor een tweede transplantatie, van islam naar christendom in het 12^{de} eeuwse Toledo. En een derde vond plaats na de verovering van Byzantium door de Turken in 1453. De Italiaanse kardinaal Bessarion vertaalde in Byzantium gevonden teksten uit het Grieks in het Latijn. Het Chinese rijk is echter altijd een zelfstandige eenheid gebleven. Militaire interventies leidden juist tot integratie van de indringers in het sterke Chinese systeem.

Bij McClellan & Dorn wordt ingegaan op verschillende beschavingen waarin een dergelijke cirkel en continuïteit aanwezig is. Naast de Chinezen bespreken zij ook de Indus en de Ganges, etcetera. Hierbij gaat het de auteurs veel meer dan bij Cohen om de ontwikkeling van de techniek, en ook veel meer om de alchemie en de gezondheidszorg. Cohen legt meer de nadruk op de ontwikkeling van de natuurwetenschap en niet zozeer alle natuurkennis. Slechts die de wetenschappelijke revolutie kunnen verklaren worden meegenomen. Dit doet hij door het demonstreren van ontwikkelingen en transformaties, Athene, Alexandrië en de empirie die uiteindelijk wel invloed hebben gehad op Europa. En zo ook de islambeschaving die van directe invloed is geweest op het westen, en waar culturele transplantatie wel heeft plaatsgevonden. Het geven van het belangrijkste voorbeeld waar dit niet is gebeurd volstaat dan in zijn verklaringmodel.

Bovendien hebben de Indus en de Gangus niet zo gek veel bijgedragen aan de wetenschap zelf. Behalve dat er een sterke alchemistische praktijk is ontwikkeld. McClellan & Dorn beschrijven hoe deze in de natuurkennis van de islambeschaving is opgenomen.

Bij het ontbreken van culturele transplantatie laat Cohen het niet. Hij gaat ook in op de inhoud en techniek van de wetenschap bij het bespreken van het ontwikkelingspotentieel van bepaalde wetenschappelijke begrippen en praktijken. Bij het ontwikkelingspotentieel speelt niet alleen de techniek zelf een rol, maar ook hoe mensen hiermee omgaan. Hier wordt hieronder dieper ingegaan.

Cohen haalt Landes aan die beschrijft dat er bij een technologische ontwikkeling, drie mogelijkheden zijn van hoe er met die ontwikkeling wordt omgegaan. Het zogenaamde corpus, het resultaat van die ontwikkeling, heeft ontwikkelingspotentieel. Zo niet, dan is de eerste optie dat er ook verder niets mee gebeurt. De tweede optie is dat het corpus wordt onderworpen aan vormen van culturele transplantatie. Hierboven hebben we gezien wat deze culturele transplantatie inhoudt. Een derde optie is dat het corpus wordt getransformeerd in iets radicaal anders.

Hier ook toont het geschiedverloop dat veel van de Chinese uitvindingen en technologische ontwikkelingen een dergelijk ontwikkelingspotentieel misten. Zo was Soe Soengs waterklok op dat moment betrouwbaarder dan het mechanisch uurwerk. Maar het mechanisch uurwerk had een dusdanig ontwikkelingspotentieel dat Huygens het kon ontwikkelen tot het slingeruurwerk dat weer betrouwbaarder was dan de waterklok. De waterklok werd niet verder ontwikkeld.

Concluderend;

McClellan & Dorn zijn gericht op het beschrijven van de ontwikkeling van wetenschap en techniek in de wereldgeschiedenis. De titel van hun boek *Science and Technology in World History* is hier getuigenis van. De auteurs leggen hiermee zowel de nadruk op wetenschap als op techniek. En bovendien richten zij zich op de wereldgeschiedenis.

Cohen legt in zijn boek de nadruk op het verklaren van de wetenschappelijke revolutie. Het gaat hem daarbij specifiek om de vraag hoe het komt dat de wetenschappelijke revolutie nu precies in Europa plaatsvond. Beschavingen die geen directe invloed hebben gehad op de wetenschappelijke revolutie worden hierbij buiten beschouwing gelaten. Wel worden de ontwikkelingen in China beschreven als exemplarisch voor een beschaving waarin ontwikkelingspotentieel ontbrak en culturele transplantaties uitbleven.

De auteurs van de twee boeken gebruiken verschillende verklaringsmodellen. Zo beschrijven McClellan & Dorn dat er onafhankelijk van elkaar in verschillende beschavingen, als de islam, China, de Indus en de Ganges en beschavingen in de nieuwe wereld vormen van techniek en wetenschap werden ontwikkeld. Deze vormen stonden in al die niet-westerse beschavingen in dienst van het nut.

Dit nut houdt in dat het dienstig was aan typisch bureaucratische samenlevingen. Het vond haar noodzaak vaak in economische belangen en deed dienst aan irrigatie en agricultuur. Voor deze economische belangen was politieke centralisatie van belang, en werd er gebruik gemaakt van sociale stratificatie. De centrale overheid koos datgene uit wat in het economisch en politiek belang was. Het werd van bovenaf opgelegd en er was weinig discussie en wedijver die tot innovatie kon leiden.

De beschavingen bleven in hun wetenschappelijke ontwikkelingen geïsoleerd. Enerzijds omdat de politiek het nodig vond de samenleving tegen bedreigingen van buitenaf te beschermen, dan wel het eigen bureaucratisch systeem sterk te houden. Anderzijds was de technologische en wetenschappelijke ontwikkeling slechts ad hoc gerelateerd aan wat op dat moment nodig was. Wetenschap werd in deze beschavingen niet gezien als een doel op zich. Een bloeiende wetenschappelijke ontwikkeling kwam hier niet uit voort, laat staan dat ze de westerse wetenschap kon bevruchten.

Cohen hanteert een ander verklaringsmodel. Hij hoeft niet specifiek op de technische ontwikkelingen en te gaan en ook niet alle belangrijke beschavingen uit de wereldgeschiedenis te beschrijven. Zoals gezegd is hij meer gericht op de vraag waarom juist in Europa, en juist in de 17^{de} eeuw, de wetenschappelijke revolutie heeft plaatsgevonden. Om dit te verklaren gaat hij uit van transformaties in vormen van natuurkennis. Het gaat daarbij om veranderingen in methodiek, in het denken, en om veranderingen in de beschikbare informatie zelf.

Nu Cohen juist op deze veranderingen en transformaties in het denken is gericht begint hij een zoektocht naar de oorsprong en invloeden op de wetenschappelijke revolutie en richt zich daarbij specifiek op West-Europa, waar deze heeft plaatsgevonden. Belangrijk bij het bepalen van oorsprong en invloed van vormen van natuurkennis is de manier waarop vormen van natuurkennis al dan niet werden overgedragen van beschaving op beschaving.

Cohen noemt deze overdracht 'culturele transplantatie'. Bij culturele transplantatie is het ten slotte van belang dat een vorm van natuurkennis ontwikkelingspotentieel heeft. De Chinese natuurkennis had dit niet, de islamitische wel.

Cohen is op zoek naar verklaringen. Hij onderzoekt wat de wetenschappelijke revolutie inhoudt en welke ontwikkelingen hier ten oorzaak aan liggen. Zijn verhaal analyseert een ontwikkeling. McClellan & Dorn formuleren niet dergelijk specifieke vragen als Cohen. Ze beschrijven meer wat er op technologisch en wetenschappelijk gebied in de wereld heeft plaatsgevonden.

In *De herschepping van de wereld* maakt Cohen gebruik van verklaringsmodellen. Deze modellen zijn niet a priori bedacht maar vloeien uit zijn analyse voort. Vervolgens past de auteur de modellen op hun beurt toe op de geschiedenis. Nogmaals, de eerste stap is de analyse van historische gebeurtenissen, hier volgt een model uit en dat model wordt weer toegepast en getoetst aan de historische gebeurtenissen. Het verhaal wordt hierdoor erg structureel en de verklaring wordt geloofwaardig.

McClellan & Dorn daarentegen verklaren veel minder. Hun beschrijving van gebeurtenissen vormt voor een groot deel de verklaring op zich. De stap om naar modellen te komen en deze modellen weer te toetsen wordt minder gemaakt dan bij Cohen. Er wordt kort gerefereerd aan een model van opkomst en neergang wanneer het gaat om de islambeschaving. Echter, geen model, of elkaar tegensprekende modellen, worden structureel in het stuk doorgevoerd.

Het verhaal van Cohen is door haar verklaringsmodellen meer samenhangend. Het is geen nevenschikking van beschavingen en wetenschappelijke fenomenen. Dit is het bij McClellan & Dorn ook niet. Zij beschrijven immers overeenkomsten tussen beschavingen en leggen ook verbanden van beïnvloeding. Het is echter wel meer die nevenschikking en laat door het ontbreken van een verklaringsmodel nog veel vragen over de oorzaken over. De oorzaken van wat? Dat is inderdaad een goede vraag. Want, nogmaals, op welke vraag zoeken deze auteurs een antwoord?

Het gebruik maken van modellen draagt het gevaar in zich dat het verhaal teleologisch kan worden. Dit zou kunnen gebeuren wanneer een model op de geschiedenis wordt toegepast op die manier dat het model wordt ingevuld met historische feiten. Dit is echter bij Cohen niet het geval aangezien het model deel is van een open analyse, die volgt uit onderzoeksvragen. Deze onderzoeksvragen en open analyse vormen dus de grondslag van Cohen's verhaal. Niet het model. Het model is echter een antwoord, een verklaring. Door stelselmatige terugkoppeling en het testen aan feiten, door het laten zien van specifieke wetenschappelijke theorieën, controleert Cohen zijn eigen modellen.

McClellan & Dorn hechten minder belang aan het beantwoorden van vragen. De beschrijving van feiten staat voor zich. Een interpretatie ervan staat voor ieder vrij. Dit is een opvatting over wat geschiedschrijving zou moeten zijn. De auteurs geven prioriteit aan de feiten, niet aan modellen. Systemen, zo vinden sommige geschiedschrijvers, bepalen de geschiedenis niet. Feiten, samenloop van omstandigheden en toevalligheden wel. Voornoemde zijn juist de uitzonderingen op modellen.

Cohen beschrijft de feiten ook. Hij zet echter een extra stap en weet te feiten te duiden door ze in modellen te plaatsen. Hier gaat mijn voorkeur naar uit. Geschiedschrijving is namelijk geen doel op zich, maar dient ertoe de wereld van nu te helpen begrijpen.

\

Opdracht 3: historiografie

Alle vier de boeken werken vanuit een verschillend paradigma. Deze paradigma's hebben weer ten doel verschillende vragen te beantwoorden. Ze verklaren kortom allen weer een ander aspect van hetzelfde onderwerp.

Over de rol die Copernicus had in de wetenschappelijke revolutie wordt bijvoorbeeld door de auteurs heel verschillend gedacht. Ook zijn er diverse opvattingen over de rol van wiskunde in de wetenschappelijke revolutie en zijn er diverse meningen over wat de doorslaggevende verklaring van de wetenschappelijke revolutie is. Ter illustratie wordt hieronder op die laatste vraag ingegaan.

Henry geeft aan dat de grondslag voor de wetenschappelijke revolutie vooral te vinden is in de magie. De magie had een pragmatisch karakter en was op de natuur, en dus empirie gericht. Technische innovatie leidde tot geavanceerde instrumenten. Met deze geavanceerde instrumenten werden alchemistische experimenten gedaan, die de alchemistische hypothesen ontcrachtten. Zo werd bijvoorbeeld ontdekt dat de 'aether' niet bestond. Hiermee kwam bijna onbedoeld een wetenschappelijke praktijk tot stand.

Vermij beschrijft hoe de wetenschappelijke revolutie plaats vond langs een aantal verbeteringen van en toevoegingen aan de methodiek van de natuurwetenschap. Dit zien we ook bij Cohen die spreekt van verrijkte vormen van natuurkennis en een fusie op delen van verschillende vormen van natuurkennis, als daar aanvankelijk waren, Athene-plus, Alexandrië-plus en het experiment.

McClellan & Dorn beschrijven hoe de militaire revolutie, ingrijpende technische innovaties op grond van militaire noodzaak, de grote katalysator van de wetenschappelijke revolutie was. Bovendien hielpen de unieke culturele, politieke en geografische omstandigheden in Europa mee aan het unieke klimaat waar de wetenschap zich ten volle in kon ontwikkelen. Over dit laatste zijn alle auteurs het wel eens, alhoewel Henry er weinig over zegt.

Een eerste vraag die gesteld wordt is of het bestaan van deze meningsverschillen niet heel vreemd is. Allereerst moet worden benadrukt dat het hier niet eens zo zeer over meningsverschillen gaat maar meer over nuanceverschillen. Ieder verteld het verhaal van de geschiedenis vanuit een ander perspectief. Er worden andere vragen gesteld, en dan krijg je ook andere antwoorden.

Zo richten McClellan & Dorn zich meer op de wereldgeschiedenis en de geschiedenis van de techniek. Bij hun verklaringsmodel is het dus niet zo vreemd dat de militaire revolutie, die meer een revolutie was in techniek, als katalysator wordt aangehaald voor de ontwikkeling van de wetenschap.

Cohen die meer op zoek is naar waarom de wetenschappelijke revolutie juist in de 17^{de} eeuw en juist in Europa heeft plaatsgevonden stelt hiermee vragen over tijd en cultuur. Hij zal daarom in de beantwoording van zijn vragen zich meer richten op hoe bepaalde beschavingen over een bepaalde periode met mogelijkheden natuurkennis te ontwikkelen omgaan. In zijn verklaringsmodel wordt dan ook de opkomst, ontwikkeling en neergang van vormen van natuurkennis besproken en worden deze factoren aan dito modellen onderworpen.

Het is ook niet wonderbaarlijk dat Henry die de gebeurtenissen in de wetenschapsgeschiedenis in bepaalde thematische kaders plaatst meer aandacht heeft voor de magie, dat één van die thema's is, en daardoor de magie een grotere rol geeft in de verklaring van de wetenschappelijke revolutie.

Vermij wil op zijn beurt weer verklaren wanneer en hoe er een herkenbaar programma van natuuronderzoek ontstond en hoe zo de natuurwetenschap als zodanig herkenbaar was. Hij hoeft zich minder aan te trekken van de vraag, waarom daar en waarom op dat moment zoals Cohen dat doet, maar kan zich meer op de methodische ontwikkeling zelf richten. Hij hoeft de geschiedenis van de westerse wetenschap dan minder dan Cohen te vergelijken met andere beschavingen en hoeft als gevolg daarvan minder in te gaan op processen van opkomst en neergang.

De verklaringen kunnen naast elkaar bestaan en zijn daardoor nog niet minder waar. Verschillende verklaringen en duidingen hoeven elkaar nog niet tegen te spreken. Vaak kunnen er

meerdere verklaringen bestaan. Zo zou het kunnen dat de wetenschappelijke revolutie door zowel de militaire revolutie, door de magische praktijken, door methodische ontwikkeling en door een samengaan en verrijken van alle bestaande vormen van natuurkennis heeft plaatsgevonden. Wanneer de vraag gesteld wordt welke verklaring doorslaggevend is komt het aan op nuanceverschillen.

De vraag wat doorslaggevend is, is sowieso moeilijk te beantwoorden in de geschiedschrijving. Dit komt omdat de geschiedenis al heeft plaatsgevonden en we zijn overgeleverd aan bronnen die allen een deel van de geschiedenis verklaren, nooit het hele verhaal. Wat zegt dit over de geschiedwetenschap als wetenschap? Op deze vraag kunnen we antwoord vinden in enkele historiografische theorieën.

In de loop van de geschiedenis zijn er verschillende visies geweest over hoe de geschiedenis moest worden beschreven en er zijn talloze methoden van geschiedschrijving geweest. Het gaat te ver om deze hier allemaal te verklaren en te beschrijven welke vormen van geschiedschrijving er allemaal op de vier boeken van toepassing zijn. Hieronder worden enkele historiografische theorieën besproken en toegepast op de vier boeken. Vervolgens wordt de vraag beantwoord wat dit zegt over de geschiedwetenschap als wetenschap.

Harold Mah beschrijft in *German Historical Thought in the Age of Herder, Kant, and Hegel* (opgenomen in Ll. Kramer en S. Maza, *A companion to Western Historical Thought*) de historistische stroming. Historisten sluiten comperatieve kennis van gemeenschappen uit en zeggen dat iedere cultuur volledig is geïsoleerd van alle anderen. Al zodanig moeten ze ook worden bestudeerd en beschreven. Met een zekere *Einfühlung*, een empathie voor de merites van een tijdperk. Ze hanteren zowel een moreel als epistemologisch relativisme. Volgens Herder was er daarom ook geen systeem, patroon of doel onder de geschiedenis te ontdekken. Wat tijdperken bind is de ontwikkeling van *Humanität*. Dit zijn de creatieve krachten en mogelijkheden van de mens op zich. Modellen zoals die van Cohen zijn dan uit den boze. Er zou bij historisten meer aansluiting kunnen worden gevonden bij de neutrale en afstandelijke beschouwingen van McClellan & Dorn.

David A. Bell voegt een ander hoofdstuk toe aan de bundel van Kramer en Maza. In het hoofdstuk *Total History and Microhistory: French and Italian Paradigms* beschrijft hij hoe de keuze voor schaal verschillende geschiedenissen doet schrijven en gaat hij in op het fenomeen 'microhistorie'. Bij microhistorie gaat hier niet zozeer om gebeurtenissen maar om het diepere geologische, sociale en economische. Microhistorie probeert individuën, gebeurtenissen of sociale netwerken te koppelen aan de grote lijn. Het gaat hierbij om de uitwerking van de macrohistorie, die diepere geologische, sociale en economische gebeurtenissen, juist beter te verklaren en te duiden door het effect ervan op het kleine en dagelijkse te demonstreren.

Centraal in dit paradigma is de analyse dat juist de vaak herhaalde overtredingen en uitpattingen interessant zijn en daarom geregistreerd werden. Er is hierbij een grote overeenkomst met de antropologie, maar het gaat niet over de sleutel tot deze culturen. Het gaat meer om de sociale interactie en conflicten in gemeenschappen.

Wat zegt het bestaan van de verschillende paradigma's en visies in de geschiedbeoefening over het wetenschappelijk gehalte ervan? In eerste instantie zou ik zeggen dat het verschijnsel dat er niet één waarheid is geschiedwetenschap in ieder geval niet minder wetenschappelijk maakt. Sterker nog, juist het inherente vermogen van de geschiedwetenschap alles ter discussie te stellen en het plek geven aan verschillende visies en interpretaties maakt het wetenschappelijk. Belangrijk in de wetenschap is namelijk het vermogen tot het doen van open analyses en het stellen van vragen. Geschiedschrijving is een niet ophoudend debat. Het bestaan van verschillende paradigma's en vormen van geschiedschrijving maakt het wetenschappelijk bij uitstek.

K. Alder illustreert in *The History of Science, Or, an Oxymoronic Theory of Relativistic Objectivity* hoe voetnoten het wetenschappelijk gehalte van een publicatie bepalen. Iedere wetenschappelijke publicatie bouwt voort op eerder gedaan onderzoek en is hier een commentaar en verdere bewerking van. Naarmate er meer wordt gepubliceerd, meer bronnen en vergelijkingsmateriaal beschikbaar is kan de discussie worden gewonnen door een kamp dat gelijk krijgt. Ook kan het zijn dat voor alle kampen meer argumenten beschikbaar komen waardoor alle verschillende visies sterker onderbouwd worden.

In Alder's stuk zien we hoe er bij wetenschapsgeschiedenis vaak keuzes worden gemaakt door historici die bepaalde kanten van een sleutelfiguur of wetenschappelijk verschijnsel weglaten. Zo zouden bepaalde historici zich aan een bepaalde sociabiliteit houden, en schrijven naar wat een publiek gezien de heersende opvattingen verwacht en kan begrijpen. (vgl. Newton gebruikte de geometrie in plaats van de calculus om zijn theorieën mee uit te leggen, omdat het publiek de calculus waarschijnlijk niet begreep) Bij Newton wordt hierdoor alchemie weggelaten en bij Darwin wordt geschreven dat hij een eureka moment had op de Galapagos eilanden en daarmee zijn evolutietheorie eerste gestalte heeft gekregen. Dat hij lang twijfelde over verschillende, elkaar tegensprekende theorieën krijgt nauwelijks aandacht.

Maakt het arbitraire gehalte van geschiedbeoefening haar minder wetenschappelijk? De keuzes voor bepaalde paradigma's zijn vaak gegeven door de heersende sociale en culturele opvattingen die in een bepaalde tijd heersen. Hier ontkomt geen enkele wetenschap aan, zo zegt ook Alder. Hier wil ik me bij aansluiten. Zolang er een poging wordt gedaan een open analyse te geven en de juiste vragen worden gesteld kan geschiedbeoefening zo wetenschappelijk mogelijk worden gehouden. Aan Foucault's discours kunnen we nu eenmaal niet ontsnappen. Iedere tekst blijft een zekere mate van subjectiviteit houden. Het hiervan bewust zijn is het belangrijkste.

W. H. E. van Ewijk, Utrecht, januari 2010

Bronnenlijst:

McClellan & Dorn 2006

J. E. McClellan III, H. Dorn, *Science and Technology in World History*, Baltimore: John Hopkins University Press, 2006.

Cohen 2007

H. F. Cohen, *De herschepping van de wereld*, Amsterdam: Bert Bakker, 2007.

Henry 2008

J. Henry, *The Scientific Revolution and the Origins of Modern Science*, Hampshire: Macmillan, 2008.

Vermij 2007

R. Vermij, *Kleine geschiedenis van de wetenschap*, Amsterdam: Uitgeverij Nieuwezijds, 2007.

Kramer & Maza 2002

Ll. Kramer, S. Maza, *A Companion to Western Historical Thought*, Oxford: Blackwell Publishers, 2002.

Newton & Cotes 1726

I. Newton, *Sir Isaac Newton's Mathematical Principles of Natural Philosophy* (1729, vertaling A. Motte)

