

# OPTICKS:

OR, A

## TREATISE

OF THE

REFLEXIONS, REFRACTIONS,

INFLEXIONS and COLOURS

OF

## LIGHT.

ALSO

## Two TREATISES

OF THE

SPECIES and MAGNITUDE

OF

## Curvilinear Figures.

LONDON,

Printed for SAM. SMITH, and BENJ. WALFORD,  
Printers to the Royal Society, at the *Prince's Arms* in  
St. Paul's Church-yard. MDCCIV.

Erik Vloedgraven

Studentnummer: 3244571

Eindwerkstuk OZS III Wetenschappelijke Revolutie

Email: e.vloedgraven@students.uu.nl

# Inhoudsopgave

	<b>Blz.</b>
<b>Uitleg brontekst in historische context</b>	<b>3</b>
- <b>Visie Cohen</b>	<b>3</b>
- <b>McClellan &amp; Dorn <math>\leftrightarrow</math> Cohen</b>	<b>7</b>
- <b>Vermij – McClellan &amp; Dorn – Cohen</b>	<b>9</b>
- <b>Henry – Vermij – McClellan &amp; Dorn – Cohen</b>	<b>11</b>
- <b>Conclusie</b>	<b>12</b>
<b>Niet-Westerse natuurkennis McClellan &amp; Dorn – Cohen</b>	<b>14</b>

**Leg je brontekst uit, en plaats die in zijn historische context. Doe dit aan de hand van de vier cursusboeken (Cohen, Vermij, Henry, McClellan & Dorn). Ga daarbij in op overeenkomsten en verschillen in de interpretaties die die auteurs van de desbetreffende gebeurtenis of stand van zaken of het desbetreffende ideeëncomplex geven, en/of in het kader waar elk van hen die gebeurtenis of stand van zaken of dat ideeëncomplex in plaatst. Daarbij besteed je aandacht aan de methodologische overeenkomsten en verschillen tussen de benaderingen van deze vier auteurs.**

Isaac Newtons *Opticks* kwam in 1704 uit. Het merendeel van de ideeën en experimenten beschreven in dit werk waren echter al opgedaan en uitgevoerd toen in 1672 Newtons eerste artikel in *Philosophical Transactions* uitkwam. Doordat er veel negatieve reacties op dit artikel kwamen besloot hij niets meer te publiceren tenzij hij zijn bevindingen met zekerheid vast kon stellen. De experimenten die zijn beschreven in *Opticks* voerde hij uit tijdens zijn zogenaamde wonderjaren, de jaren waarin hij ook de eerste aanzet gaf voor zijn wet van universele gravitatie die weer als basis diende voor zijn echte meesterwerk: *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, waarmee een heel nieuw wereldbeeld ontstond, het wereldbeeld dat het Aristoteliaanse wereldbeeld van Descartes zou vervangen. Het boek dat Newton na zijn *Principia* uitbracht, de *Opticks*, heeft altijd in de schaduw van dat meesterwerk gestaan en staat vandaag de dag nog steeds in die schaduw. Dat is ook te zien in de verhandelingen van de vier besproken auteurs met betrekking tot de wetenschappelijke revolutie. Waar de *Principia*, en de ideeën die daarin staan, bij alle auteurs een prominente plaats inneemt komt de *Opticks* niet of nauwelijks voor in de besproken werken over de wetenschappelijke revolutie. Bij Cohen, waarvoor ik naast *de Herschepping* ook *Isaac Newton en het ware weten* behandel en McClellan & Dorn komt *Opticks* wél naar voren, dat geldt minder voor Vermij en Henry. Daarbij moet wel vermeld worden dat de besproken werken van Vermij en Henry minder uitgebreid zijn dan de twee andere visies en Vermij en Henry in tegenstelling tot vooral Cohen beschrijvend zijn en niet verklarend.

Zowel Cohen als McClellan geven in hun werken een goed beeld van wat er daadwerkelijk in *Opticks* staat en geven daarbij ook aan dat het werk minder theoretisch en wiskundig is ingedeeld dan de *Principia* en dat deze daardoor veel beter leesbaar is, ook voor mensen die geen bèta-aanleg hebben. In het kort gezegd behandelt *Opticks* Newtons experimenten die betrekking hebben op licht en kleuren, de weerkaatsingen en brekingen in verschillende omstandigheden en experimenten met behulp van prisma's en andere hulpmiddelen. Ook verklaarde Newton de regenboog en behandelde hij buiging van lichtstralen en de kleuren die daardoor ontstaan. Newton sloot het werk af met enkele vragen (*Queries*), deze laat ik in dit stuk buiten beschouwing. Dat geldt ook voor de boekdelen II en III. In deze vergelijking over *Opticks* ligt de nadruk op deel I en dan vooral de rol van het experiment daarin.

## Cohen

Als basis voor de vergelijking tussen de vier besproken auteurs gebruik ik de visie van Cohen met betrekking tot boek I van *Opticks*, *Opticks* als geheel en Newton zelf als geheel én als deel van de wetenschappelijke revolutie. Daarbij gaat het zowel om *de Herschepping* als *Isaac Newton en het ware weten*.

De positie van Newton binnen de wetenschappelijke revolutie is in de visie van Cohen een belangrijke. Newton is de man bij wie de wetenschappelijke revolutie zijn einde kent en vanaf dat moment mag er in de visie van Cohen gesproken worden over natuurwetenschap<sup>1</sup>.

Cohen onderscheidt eerst twee vormen van natuurkennis en vanaf de Renaissance ook een derde. Newton is in de visie van Cohen degene die de drie vormen van natuurkennis in de vierde, vijfde en uiteindelijk de zesde revolutionaire transformatie binnen de wetenschappelijke revolutie samen weet te voegen en zo de moderne natuurwetenschap stichtte. De eerste drie transformaties vonden vanaf het jaar 1600 plaats met in de wiskunde Galilei en Kepler, in de natuurfilosofie Beeckman en Descartes en in de experimentele methode Bacon, Gilbert, Harvey en van Helmont. In totaal zijn er in de visie van Cohen zes revolutionaire transformaties binnen het geheel van de wetenschappelijke revolutie. Newton nam deel aan de vierde, samen met Huygens, de vijfde samen met Boyle en Hooke en vervolmaakte de wetenschappelijke revolutie in zijn eentje met de grote synthese: de zesde transformatie. Die zesde transformatie vervolmaakte Newton vooral met zijn *Principia*. Toch ziet Cohen de combinatie van *Opticks* en *Principia* als het hoogtepunt van wat historici in de loop van de tijd de wetenschappelijke revolutie zijn gaan noemen<sup>2</sup>.

Om de visie van Cohen ten opzichte van Newton goed te begrijpen is het van belang de positie die Newton in zijn visie van de wetenschappelijke revolutie speelde goed weer te geven.

De eerste transformatie waar Newton aan deelnam en de vierde in het schema van Cohen zoals hij dat hanteert in *de Herschepping* is de samenvoeging van 'deeltjes-in-beweging' met wiskunde. Daartoe moest dat deeltjes-denken worden ontdaan van haar 'Atheense' structuur die haar door Descartes was meegegeven. Descartes had een wereldbeeld geschapen van deeltjes die continu in beweging waren. Die bewegingen vonden plaats in de vorm van wervels. Huygens was de eerste die wiskunde en deeltjes-denken probeerde te koppelen. Dat deed hij omdat hij inzag dat de botsingsregels van Descartes niet konden kloppen. Huygens neigde steeds meer naar Galilei en zijn botsingsregels zoals hij ze opstelde in de eerste transformatie, die in de wiskunde: van Alexandrië naar Alexandrië-plus. Huygens had bij

<sup>1</sup> Floris Cohen, *De herschepping van de wereld: het ontstaan van de moderne wetenschap verklaard* (Amsterdam, 2008), 247.

<sup>2</sup> Floris Cohen, *Isaac Newton en het ware weten* (Amsterdam, 2010), 226-228

zijn afleiding van zijn eigen botsingsregels geprobeerd gebruik te maken van een begrip van ‘botsingskracht’. Dit gaf hij op, ‘kracht’ was in de Atheense natuurfilosofie een occult begrip, wat Descartes juist had willen wegwerken door zijn systeem van wervels, waar gaan krachtbegrip meer nodig was. Uiteindelijk kwam Huygens niet verder dan waarschijnlijkheid waar het ging om bewegingswetten, doordat hij geen krachtbegrip kon gebruiken. Hij was in de visie van Cohen toch nog teveel deeltjesdenker om met een occult ‘krachtbegrip’ te kunnen werken. Wel had Huygens een belangrijke stap genomen om wiskunde aan deeltjes-denken te koppelen, hij had de eerste bres in de af scheiding tussen Athene-plus en Alexandrië-plus geslagen<sup>3</sup>.

Newton was ondertussen zonder dat iemand er van wist, met dezelfde vraagstukken als Huygens bezig. Hij kwam met de botsing, de slinger en de cirkelbaan tot dezelfde resultaten als Huygens. Uiteindelijk liep ook Newton vast, maar hij was wel een stap verder dan Huygens ooit gekomen was. Hij besloot een idee van de cirkelbaan te toetsen aan iets dat hij in de boomgaard van zijn moeder had gezien: een appel die op de grond viel. Is dat wat een voorwerp op de aarde laat vallen hetzelfde als wat de maan in een baan om de aarde houdt? Met Keplers derde wet erbij bleek de berekening ‘vrij goed’ te kloppen, wat voor Newton niet goed genoeg was. Op dit punt dacht Newton zelf nog niet aan iets als aantrekkingskracht. Wel had hij er samen met Huygens voor gezorgd dat deeltjes-denken en wiskunde (Athene en Alexandrië) die in de visie van Cohen sinds de oudheid gescheiden waren voor het eerst (deels) met elkaar werden verbonden<sup>4</sup>.

Voordat Newton de beslissende stappen richting zijn wet van universele gravitatie kon zetten was hij eerst nog betrokken bij de vijfde revolutionaire transformatie. Bij die transformatie kreeg hij te maken met het werk van twee andere Engelsen: Robert Boyle en Robert Hooke.

Het ‘deeltjes-in-beweging’ denken was iets typisch van het Europese vaste land. Pas laat kreeg het deeltjes-denken ook voet aan de grond in Engeland. Daar werd het omgevormd tot een fijnzinnige, alles doordringende substantie, die materieel was, maar desgewenst ook spiritueel kon zijn: aether. Deze aether werd gekoppeld aan het opsporende experiment zoals dat ontstond in de derde revolutionaire transformatie in handen van onder anderen Bacon en Harvey. Zo ontstond wat Cohen noemt het ‘Baconiaans Brouwsel’. Zo werd de tweede vorm van natuurkennis, het Atheense deeltjes denken, gekoppeld aan de derde (typisch Engelse) vorm van natuurkennis, het opsporende experiment. Belangrijk bij deze transformatie was vooral de drang paal en perk te stellen aan de willekeur van het onderzoek. Om daar wat aan te doen formuleerde Boyle twee maal zeven punten om wederzijdse disciplinerende te bevorderen. Boyle formuleerde uiteindelijk het idee van materiedeeltjes die samenklonteren of juist uit elkaar vallen en zo primaire mengsels vormen. Vooral Boyles stelselmatigheid bleek voor het nageslacht belangrijk<sup>5</sup>.

Ook Robert Hooke had in deze vijfde transformatie zijn aandeel. Hooke wilde het deeltjes-denken disciplineren door de analogie uit te diepen. Maatstaven hiervoor waren ‘consistentie’, ‘onbetwifelbare zekere grondslagen’ en ‘fysische intuïtie’. Daarnaast was het trekken van een analogie met de macro-wereld een maatstaf. Hooke zag de essentiële analogie in trilling. Deeltjes trillen zonder ophouden, hierdoor werden consonantie en dissonantie kernbegrippen in het deeltjes-denken. Hookes aether was op deze manier drager van hele reeksen natuurverschijnselen.. Alleen op micro-niveau kwam Hooke in de problemen en kwam het echte dubbelzinnige karakter van aether naar boven. Zo kwam er spanning op het deeltjes-denken te staan<sup>6</sup>.

Ook Newton dacht in aether. Daarbij gaat het, net als bij Hooke, om aether doordringen met het pneuma van de Stoa en Plato’s wereldziel. Newton nam Hookes trillingen niet over, mag dacht in plaatselijke dichtheid. Alles van licht en kleur wat hij in 1672 had ontdekt en wat ik later behandel, vloeide er netjes uit voort. In 1679 knapte het elastiek bij Newton, door toenemende dubbelzinnigheid. Hij begon langzaam aan in ‘krachten’ te denken en concludeerde dat er van een aanwezigheid van aether niets bleek. Door Hooke weer op het idee van baanbeweging gebracht stortte Newton zich daar weer op. Hooke vermoedde dat er tussen de aarde en de maan een aantrekkende kracht zat die de eenparig-rechtlignige beweging die de maan zou willen maken afboog. Alleen bezat Hooke de wiskundige capaciteiten niet om dat vermoeden te bevestigen. Newton kon dat wel en schreef voor zichzelf het bewijs op en hield dat bewijs ook voor zichzelf. Hooke wist van niks en besloot zijn vermoedens met enkele ‘Fellows’ van de ‘Royal Society’ te delen: Christopher Wren en Edmond Halley. De laatste besloot bij een bezoek aan Cambridge ook een bezoek te brengen aan Isaac Newton, iets wat tot een uitvoerige passage in het betoog van Cohen heeft geleid<sup>7</sup>.

Hier eindigt bij Cohen de vijfde transformatie, die van deeltjes-denken gekoppeld aan het opsporende experiment. Het betoog van Cohen gaat vervolgens verder met de zesde transformatie waarbij de vierde en de vijfde, dus Athene en Alexandrië samen gekoppeld worden aan Athene samen met het opsporende experiment. In deze transformatie staat de persoon van Isaac Newton centraal en deze transformatie wordt ook door hem persoonlijk vervolmaakt.

Halley ging bij Newton langs om te vragen of hij iets wist van een begrip van krachtwerking dat afneemt met het kwadraat van de afstand en de ellipsbanen van planeten verklaard, zoals Hooke dat beweerde had. Het bewijs wat Newton Halley drie maanden later opstuurde was de basis voor zijn latere *Principia*. Bij dit werk gebruikt Cohen voor het eerst de term ‘natuurwetenschap’. Dit doet hij omdat het met de natuurfilosofie in Atheense trant met de *Principia*

<sup>3</sup> Floris Cohen, *de Herschepping van de wereld*, 229-234.

<sup>4</sup> Ibidem, 234-235.

<sup>5</sup> Ibidem, 236-238.

<sup>6</sup> Ibidem, 239-241.

<sup>7</sup> Ibidem, 242-246.

volkomen gedaan is. De *Principia* opent met algemene bewegingswetten, zoals die van het ‘traagheidsbeginsel’ en de wet die stelt dat een kracht geen snelheid, maar een versnelling teweegbrengt. Zo wordt een eenparig-rechtdlijnige beweging van een lichaam afgebogen door een kracht die afneemt met het kwadraat van de afstand.

Waarom was het juist Newton die de laatste transformatie volmaakte en daarmee de wetenschappelijke revolutie, in de ogen van Cohen, tot een einde bracht?

Als eerste draagt Cohen daarvoor aan dat de Royal Society een belangrijke rol speelde. Zonder de Royal Society waren Hooke, Newton en Halley nooit met elkaar in contact gekomen. Ook speelde de nieuwe tijdschriften en publicatievormen een belangrijke rol. Maar het allerbelangrijkste in de visie van Cohen is dat Newton deel was van zowel de vierde als de vijfde transformatie. Huygens was pionier van de vierde, maar kon Athene en Alexandrië niet koppelen, doordat hij geen krachtbegrip wilde gebruiken, omdat dat in zijn visie van deeltjes-denken iets occults was. Daarnaast kende hij de aether van het Baconiaanse brouwsel niet. Die aether was vóór Newton uitgewerkt door Hooke. Hooke kon alleen niet verder, doordat hij niet had deelgenomen aan de vierde transformatie, hij had die wiskundige kennis die nodig was niet. Hij miste die scholing en discipline. Cohen ziet een combinatie tussen Huygens en Hooke als de ideale combinatie om de wetenschappelijke revolutie te vervolmaken, aan die vereiste voldeed alleen Newton<sup>8</sup>.

Cohen beschrijft in zijn twee werken de context van het natuuronderzoek waar *Opticks* onder valt. Hij ziet ook bij dit werk Hooke en Huygens als de twee grote rivalen van Newton. Daarnaast komen ook ontdekkingen van Kepler, Descartes, Boyle en de Jezuïeten naar voren.

Om een goed beeld te krijgen aan wat er zo nieuw was in de visie van Newton beschrijft Cohen in het kort hoe er voor 1665 over kleuren gedacht werd.

Licht en kleur waren pas net met elkaar verbonden, met de transformatie van ‘Athene’ in Athene-plus’. Daarvoor was een verklaring van licht vooral betrokken op het zien, met name Alhazen had ze nauw samengevoegd. Alhazen stelde dat lichtstralen die loodrecht in het oog vallen zichtbaar zijn, die daarnaast niet. De heersende visie rond 1600 was de *perspectiva* waar in het begin van de wetenschappelijke revolutie aan getornd begon te worden. *Perspectiva* was een heel complex aan inzichten over wat licht is en daar behoorde ook anatomie van het oog toe<sup>9</sup>.

Kepler verzette zich in 1604 tegen het idee dat alleen loodrecht invallende stralen het oog bereiken, een kleine afwijking in de hoek van inval zou de lichtstraal namelijk al onzichtbaar maken. Kepler ontdekte dat elke straal die vanaf welk punt van een lichtgevend voorwerp dan ook het oog bereikt, in de ooglenzen naar het zelfde brandpunt toe wordt gebroken, waardoor op het netvlies een omgekeerd beeld wordt gevormd. Om tot die conclusie te komen had Kepler de sinus-regel nodig die tot dan toe in Europa onbekend was en die Kepler benaderde, in ieder geval goed genoeg om deze vondst te kunnen doen.

Descartes vatte licht op als de voortplanting door de ruimte heen van de druk die materiedeeltjes uitoefenen terwijl ze elkaar onophoudelijk van hun plaats dringen. Hij verklaart licht dus door middel van zijn deeltjes-denken. Licht is in feite een neiging tot beweging en de kleur hing samen met de aswenteling van de deeltjes: voor een snelle aswenteling werden deeltjes rood, voor de traagste aswenteling werden ze blauw. Kleur werd zo een eigenschap van licht. Kleur bleef zo een gedaanteverwisseling van het oorspronkelijke witte licht. De wiskunde die Descartes wel degelijk bezat, maar die Cohen los zag van zijn ‘Atheense’ natuurfilosofie, bracht hem tot de ontdekking van de brekingswet, dat is de regelmaat die aangeeft hoe een lichtstraal wordt gebroken op het grensvlak van twee stoffen. Descartes wist als eerste met zijn visie licht en kleur onlosmakelijk met elkaar te verbinden<sup>10</sup>.

In de derde natuurfilosofische methode ziet Cohen iets opkomen wat Newton op het allerlaatste moment heeft toegevoegd aan zijn *Opticks*. Bij de Jezuïeten ziet Cohen iets verschijnen dat op diffractie lijkt: een dun lichtbundeltje kan als je er een naaldje dicht bijhoudt een vagere en bredere schaduw geven dan je zou verwachten.

Ook Hooke had wat kleurverschijnselen betreft nog wel wat toe te voegen. In zijn boek *Micrographia* beschrijft hij kleurverschijnselen in dunne laagjes, hetzelfde onderwerp als waar Boyle al eens mee bezig was geweest. Hooke wilde vooral Descartes’ visie van wat licht is weerleggen en daarnaast laten zien welke mogelijkheden microscopisch onderzoek bood. Hooke had met zijn microscoop ontdekt dat in dunne laagjes mica zich ringen vormen rondom een zwart plekje. Het bleef ook niet bij één enkele ring, daarnaast hadden de ringen ook verscheidene kleuren. Ook zag Hooke dat de opeenvolging periodiek was. De hypothese die Hooke vervolgens trok was verklarend: een lichtstraal wordt aan het oppervlak van het laagje gebroken, onderin opnieuw, daardoor ontstaat wat wij nu fase-verschil noemen. Hooke zelf trok vervolgens een analogie tussen licht en geluid, hij viel terug op zijn trillingen. Daarbij greep hij terug op een idee van Hobbes. Dat idee is dat licht als een opeenvolging van pulsen die door de wereld-aether heen de trillingsbeweging van het lichtgevend object aan het netvlies doorgeven. Kleuren ontstaan uiteindelijk doordat dergelijke pulsen scheef op een lichtbrekend oppervlak vallen, waardoor het licht bij herhaalde breking verward raakt. Wederom speelde de wiskunde Hooke vervolgens parten. Hij kon de minimale en maximale waarden van de dikte van het laagje waar de ringen zich manifesteerden niet bereken, omdat het om zulke minimale getallen gaat<sup>11</sup>.

<sup>8</sup> Floris Cohen, *De Herschepping van de wereld*, 250-253.

<sup>9</sup> Floris Cohen, *Isaac Newton en het ware weten*, 39-41.

<sup>10</sup> *Ibidem*, 43.

<sup>11</sup> *Ibidem*, 43-45.

Tot zover de context waarbinnen Cohen *Opticks* plaatst. Newtons eigen zoektocht begon met het weerleggen van de ideeën die Hooke naar buiten bracht in zijn *Micrographia*. Cohen vat in *Isaac Newton en het ware weten* Newtons *Opticks* gevat samen in enkele zinnen. Namelijk dat licht volgens Newton geen doorgegeven pulsen zijn, maar uitgezonden deeltjes. Het witte licht is het verwarde licht. Het zijn de afzonderlijke componenten die, als ze gescheiden op het netvlies vallen, de gewaarwording van de afzonderlijke kleuren oproepen. De rest van het boek is een uitgebreide beschrijving om dit nieuwe fenomeen uit te leggen.

Om andere mogelijkheden van kleurenzifting te ontcrachten kwam Newton met het cruciale experiment. Eerst werd elke kleur door middel van een prisma af gescheiden en vervolgens op een tweede prisma laten vallen, waarna er geen verdere verschuiving meer plaatsvond. Vervolgens richtte Newton zich op de verschillende kleuren. Hooke had zich op blauw en rood gericht, maar het begon Newton te dagen dat er oneindig veel combinaties en nuances zijn aan te brengen.

In verscheidene experimenten legt Newton uit hoe hij eerst tot de conclusie kwam van de homogeniteit van gekleurd licht en daarmee de heterogeniteit van wit licht en vervolgens de verschillende brekingsgraden van diezelfde kleuren ontdekte. Zo ontdekt Newton in experiment negen van boek I deel I, dat blauw en violet meer worden gebroken dan kleuren aan de andere kant van het spectrum, zoals geel en rood<sup>12</sup>. Door zijn prisma steeds iets om zijn as te draaien terwijl er een straal zonlicht van buitenaf op schijnt, weet Newton uiteindelijk ook de andere kleuren, rood, geel en groen, te breken. Dat terwijl het binnenkomende zonlicht het oorspronkelijke witte licht was. In combinatie met een experiment dat hierop volgt, waarbij Newton gebruikt maakt van twee prisma's die hij tegen elkaar drukt, komt Newton uiteindelijk tot de conclusie dat zonnestrallen verschillen in de mate waarin ze gereflecteerd worden. Daarnaast zijn de stralen die het de hoogste brekingsgraad hebben net iets minder reflecteerbaar dan die met een lagere brekingsgraad<sup>13</sup>. Letterlijk zegt Newton bij propositie III theorie III:

*'The sun's light consists of rays differing in reflexivity, and those rays are more reflexible than others which are more refrangible'*<sup>14</sup>.

Op andere plaatsen in zijn betoog toont Newton aan dat het witte licht is samengesteld uit alle kleuren van het spectrum. Zo voert hij een experiment uit waarbij hij het zonlicht via een prisma op een wit vel papier laat vallen. Dat papier bewoog hij van en naar een specifieke kleur. Als hij daar dichterbij zat leek het papier meer op die kleur. Maar als hij het papier op gelijke afstand van alle kleuren hield viel er een wit licht op het papier<sup>15</sup>. Een zelfde soort experiment voerde hij uit met een kam. Als hij deze langzaam tussen zijn prisma en het papier bewoog werden de kleuren één voor één afgescheiden, als hij de kam veel sneller heen en weer bewoog, viel er een wit licht op het papier<sup>16</sup>.

Daarna kon Newton zich richten op Descartes' verklaring van de regenboog. Die verklaarde de regenboog doordat in elk afzonderlijk druppeltje van een regenwolk die zich tussen de zon en de waarnemer bevindt zowel spiegeling als breking optreedt. Ook stelde Descartes vast dat de hoek waarin we de regenboog waarnemen altijd dezelfde is. Newton kon nog meer vaststellen dan Descartes: hij kon de verhouding bepalen tussen brekingsindices aan beide uiteinden van het spectrum: rood en indigo.. Nadat hij ook wit licht met succes had gereconstrueerd ging Newton verder met onderzoek door middel van het volgende hulpmiddel: gedeeltelijke weerkaatsing in dunne laagjes<sup>17</sup>. Hierbij gebruikt Cohen de ontdekkingen van Hooke als uitgangspunt. Zowel Huygens als Newton waren wél in staat verder te gaan waar Hooke moest afhaken. Huygens stopte met zijn onderzoek toen bleek dat hij verder kon gaan dan Hooke, wat voor hem genoeg was. Newton bleek beiden te kunnen overtreffen. Wat voor Newton overigens ook goed nieuws was, want zijn hele idee van wat kleur eigenlijk is stond op het spel. Uit verder onderzoek bleek dat er aan de periodiciteit van de ringen (op dit moment) niet te ontkomen viel. Newton concludeerde later ook nog dat puls-achtig licht zich in de schaduw zou moeten kunnen buigen. Dat idee is dus niet verenigbaar met het idee van rechte voortplanting van licht.

Newtons bevindingen die vele jaren later tot het boek *Opticks* zouden leiden werden in februari 1672 in *Philosophical Transactions* gepubliceerd. Zowel Hooke als Huygens reageerden met eigen vooroordelen en lazen over het wezenlijke punt van kleurenschifting heen. Ze leken vooral te struikelen over het emissie-idee dat samenging met de opvatting over het licht van Newton. Het licht, in Newtons visie plant zich voort door een aether opgebouwd uit trillende deeltjes. Maar dat was niet het belangrijkste wat Newton te melden had in dat artikel. Dat was de mededeling dat het witte licht is samengesteld uit het spectrum van alle andere kleuren en dat het niet, zoals daarvoor altijd gedacht, andersom zat. Met de experimenten die Newton uitvoerig beschreef in *Opticks* zette hij die ontdekking nog eens kracht bij.

De rol die *Opticks* voor Cohen speelt in het geheel van de wetenschappelijke revolutie is er vooral in gelegen dat Newton met zijn experimenten op zoek was dan niets anders dan zekerheid. Zijn tijdgenoten en concurrenten als Huygens, Boyle en Hooke vonden een experiment geslaagd als het een aannemelijk resultaat opleverde. In tegenstelling

<sup>12</sup> Isaac Newton, *Opticks or a treatise of the reflections, refractions, inflections, and colours of the light* (New York, 2003), 54-55.

<sup>13</sup> Isaac Newton, *Opticks*, 56-63.

<sup>14</sup> *Ibidem*, 63.

<sup>15</sup> *Ibidem*, 134.

<sup>16</sup> *Ibidem*, 144-145.

<sup>17</sup> Floris Cohen, *Isaac Newton en het ware weten*, 51-52

tot hen nam Newton alleen met zekerheid genoeg. In *Opticks* kreeg Newton het voor elkaar het opsporende-experiment te ontdoen van het lukrake zoeken, maar te werken met precisieingen<sup>18</sup>. Zo kwam Newton op een zekerheid uit, die daarvoor in het natuuronderzoek alleen bij de Atheense vorm te vinden was in de eerste beginselen. Alleen speelde het experiment daar de rol waarin het de eerste beginselen moest ondersteunen, aantonen dat deze juist waren. Het experiment was daar illustratief, Newton stelde juist aan de hand van zijn experimenten wetmatigheden op en werkte dus andersom.

In *Opticks* legt Newton beknopt zijn experimenten uit en laat zien wat hij daarmee wilde bereiken. Bij meerdere experimenten vermeldt Newton er expliciet bij, dat hij het uitgevoerde experiment enkele keren herhaalde en pas bij overeenkomende in de herhalingen zijn uitkomsten overnam, om zo tot zekerheid te komen. Zo legt Newton in één van zijn eerste experimenten uit, dat hij zag dat zijn prisma het licht onregelmatig zou kunnen breken door een oneffenheid, om daar achter te komen voerde hij een experiment om licht te breken vaker uit<sup>19</sup>. Ook bij een experiment waarbij Newton zocht naar de verschillende brekingsgraden van kleuren geeft hij aan dat hij het experiment diverse malen herhaalde om zo tot een sluitende conclusie te komen en niets aan onzekerheid over te laten<sup>20</sup>.

Door het herhalen van zijn experimenten en zijn resultaten niet zomaar voor lief te nemen bracht Newton het natuuronderzoek naar een nieuw niveau, wat voor Cohen één van de redenen is geweest om vanaf Newton te spreken over natuurwetenschap. Daarmee past *Opticks* en daarvan specifiek boek I in het schema van Cohen bij de vijfde en de zesde revolutionaire transformatie. Bij de vijfde omdat Newton in *Opticks* en met zijn lighthypothese net als Boyle en Hooke poogde paal en perk te stellen aan de willekeur van het natuuronderzoek zoals dat tot dan toe bekend was. Bij de zesde, omdat *Opticks* daarin samen met de *Principia* een heel nieuwe vorm van natuuronderzoek mogelijk maakt, één die gestoeld is op zowel het experiment als op de wiskunde.

### McClellan & Dorn ↔ Cohen

Aan deze verhandeling met betrekking tot Newton en zijn *Opticks* in de visie van Cohen zal één voor één de visies van de andere auteurs getoetst worden om uiteindelijk alle vier de visies met elkaar te vergelijken. De eerste vergelijking is die tussen Cohen en McClellan (& Dorn).

McClellan plaatst Newton net als Cohen aan het eind van de wetenschappelijke revolutie. Newton is het hoogtepunt van wat McClellan door de hele geschiedenis van de mensheid heen al wetenschap heeft genoemd. Daar ligt gelijk een groot verschil met Cohen, die juist pas bij Newton spreekt van (natuur)wetenschap. Dat doet Cohen voornamelijk om anachronismen te voorkomen, omdat het natuuronderzoek van voor Newton weinig te maken heeft met wat wij nu kennen als natuurwetenschap. Ook is de rol en de beoefening van het natuuronderzoek bij Newton radicaal veranderd. Daarnaast plaatst McClellan Newton aan het begin van de verlichting. Daardoor is Newton in de visie van McClellan een link met mensen als Voltaire en Montesquieu<sup>21</sup>, die in feite niets met natuurfilosofie of natuuronderzoek an sich te maken hebben gehad. Met zijn onderzoek zou Newton zo invloed hebben gehad op de Amerikaanse en Franse revolutie, Cohen legt die link in zijn werken niet.

De rol van Newton is bij beiden met betrekking tot de wetenschappelijke revolutie grotendeels gelijk. Beiden zien Newtons *Principia* als hoogtepunt van de wetenschappelijke revolutie. Waar Cohen gelijk naast de *Principia* een plaats heeft ingeruimd voor *Opticks*, geldt dat niet voor McClellan. McClellan ziet in de *Principia* het einde van het Cartesiaanse systeem, waar Cohen het ziet als een samenvoeging van de drie losse vormen van natuurkennis, die met medewerking van Newton bij eerdere transformaties al deels waren samengevoegd. Dat Cartesiaanse systeem kwam bij Cohen ten val doordat er steeds meer wiskunde in kwam en doordat Cartesiaanse systemen door de eerste beginselen steeds in zichzelf keerden en daardoor cirkelredeneringen werden.

Vervolgens toetst McClellan de wetenschappelijke revolutie aan het nut dat wetenschap voor technologie heeft gehad. Het antwoord daarop is eigenlijk nul. Dat komt ook overeen met Cohen, die zeker een praktisch nut ziet en dan vooral in de derde vorm van natuurkennis, maar dat er pas in de achttiende eeuw en later daadwerkelijk uit weet te komen. Voor McClellan is dat nog meer van belang, omdat zijn hele werk gaat over de interactie tussen wetenschap en technologie. Waarbij blijkt dat tot en met de wetenschappelijke revolutie technologie eigenlijk wetenschap meer stimuleert en vooruit helpt dan andersom<sup>22</sup>.

McClellan opent zijn betoog over Newton met de verhandeling over zijn werk in optica en de publicatie van het artikel van Newton in *Philosophical Transactions*. Voor McClellan ligt er aan de opgedane kennis door middel van de experimenten met het prisma een breuk met Aristotelianse en Cartesiaanse ideeën. Ook zou de kritiek die hierop volgde komen uit de hoek van Aristotelianen en Cartesianen. Hier zit weer een enorm verschil met de visie van Cohen. Cohen geeft aan dat de kritiek op dat stuk kwam van Hooke en Huygens. Huygens was een Cartesiaan, maar hoe ouder

<sup>18</sup> Ibidem, 228-229.

<sup>19</sup> Isaac Newton, *Opticks*, 30.

<sup>20</sup> Ibidem, 126.

<sup>21</sup> James E. McClellan III & Harold Dorn, *Science and technology in world history: an Introduction* (Baltimore, 2006), 266.

<sup>22</sup> McClellan & Dorn, *Science and technology in world history*, 266-269.

hij werd, hoe meer hij werd aangetrokken tot de wiskunde van vooral Galilei. Hooke had nog minder met Descartes dan wel Aristoteles als Huygens. Het enige wat hij van Descartes had overgenomen was diens idee van deeltjes-denken. Alleen had Hooke daarvan wel zijn eigen variant gemaakt. Cohen heeft het wel over kritiek op de nieuwe theorie van Newton zoals die in 1672 werd gepubliceerd, maar die had alleen in de verte iets te maken met Cartesianisme, namelijk Huygens die daar als elke jongen van nog geen twintig jaar oud de positieve kanten van inzag. Ook wordt bij McClellan niet met naam en toenaam genoemd wie er dan kritiek leverde op de nieuwe ideeën met betrekking tot licht en kleur zoals Newton die formuleerde.

Zowel McClellan als Cohen zien wel de importantie in van de ontdekkingen met betrekking tot licht en kleuren die Newton voor het eerst in 1672 publiceerde, namelijk de breuk met het verleden. Net als Cohen haalt McClellan het cruciale experiment naar voren, alleen behandeld Cohen dat veel uitgebreider.

Een aspect met betrekking tot de wetenschappelijke revolutie waar McClellan en Cohen het over eens zijn, is de importantie van instituten als de *Royal Society*. Een verschil is dat Cohen de importantie aangeeft met betrekking tot de persoon van Newton zelf, via de *Royal Society* kwam Newton in contact met andere *Fellows* en in het bijzonder met Halley en Hooke. Daarnaast maakte het nieuwe tijdschrift van het genootschap de *Philosophical Transactions* het Newton mogelijk om zijn nieuwe ideeën te delen met de intelligentste mensen in het koninkrijk, hoezeer hij er ook tegenop zag om dat te doen. McClellan ziet dit soort instituten vooral als blijk van toenemend interesse van machthebbers in wetenschap.

Wat *Opticks* zelf betreft zijn Cohen en McClellan het over de waarde en de inhoud eens. Het is een belangrijk werk in het geheel van de wetenschappelijke revolutie voor beide schrijvers mede doordat het juist het belang van het experiment benadrukte<sup>23</sup>. Naast Cohen, ziet ook McClellan *Opticks* als een uitgebreide verhandeling van het in 1672 verschenen artikel, maar dan uitgesmeerd over meer dan 200 pagina's. McClellan noemt ook kort een aantal onderwerpen die naar voren komen in *Opticks*:

*'He offered his views that lights is composed of rays, that different rays are refracted to different degrees through lenses or prisms, that each ray corresponds to a different color, and that white light represents an amalgamation of all rays and colors'*<sup>24</sup>.

Het experiment waar Newton de verschillende brekingsgraden berekend laat McClellan verder buiten beschouwing. Dat doet Newton namelijk in experiment negen van deel II van boek I. Daar berekent Newton de hoek waarin de verschillende kleuren worden gebroken in een prisma en zo uiteindelijk als een gekleurde bundel op de muur of een papiertje verschijnen. Hij geeft daarbij aan dat de rode stralen de kleinste brekingshoek hebben met 77 graden tot 77 1/8 graden en violet de grootste brekingshoek, met 77 7/9 tot 78 graden<sup>25</sup>.

Cohen noemt in het verband met de *Opticks* als voornaamste concurrenten van Newton Hooke en Huygens. Hooke wordt wel een enkele keer genoemd, maar dan vooral in verband met de losse experimenten die hij uitvoerde, alleen of samen met Boyle, zoals in het geval van de luchtpomp. Zijn boek *Micrographia* wordt door McClellan slechts een enkele keer aangehaald en dat gebeurt dan in verband met zijn werk met de microscoop. Hooke wordt in het hele werk van McClellan alleen in verband met de baanbeweging van planeten en de maan in verband gebracht met Newton, niet om zijn werk met betrekking tot licht en kleur. Hooke is hier net als bij Cohen de experimentator in volle glorie, alleen is er zelfs van zijn experimenten weinig te zien bij McClellan, datzelfde geldt voor de experimenten die Newton uitvoerde met betrekking tot licht en kleur. Daar wordt alleen het cruciale experiment letterlijk aangehaald. Ook de rol die de experimenten gingen spelen in het werk van Newton komt bij McClellan niet naar voren. Cohen geeft aan dat de manier van werken en de rol van het experiment bij Newton toonaangevend zijn geweest. Zo toonaangevend zelfs dat Cohen dat ziet als één van de belangrijkste gebeurtenissen in de wetenschappelijke revolutie en dat is ook één van de redenen dat *Opticks* bij Cohen tot de zesde transformatie gerekend kan worden. McClellan spreekt met geen woord over de nieuwe rol van het experiment in *Opticks*. Juist die nieuwe rol, waarbij Newton op zoek ging naar waarheden in plaats van aannemelijkheden maken *Opticks* voor Cohen belangrijk. Ook Newton zelf geeft aan hoe belangrijk die experimenten zijn, door ze voor de zekerheid bij onduidelijkheden te herhalen<sup>26</sup>.

Huygens komt er in de visie van McClellan nog bekaaid van. Hij wordt een enkele keer genoemd als één van de grootste aanhangers van het Cartesiaanse systeem. Bij Cohen staat hij daar ook om bekend, maar daar maakt hij daarnaast ook kennis met de wiskunde, vooral die van Galilei, die hem in staat stelde om deel te nemen aan de vierde revolutionaire transformatie. Cohen laat zien hoe Huygens onder andere zijn botsingsregels formuleerde aan de hand van een vergelijking tussen Descartes en Galilei en tot de conclusie komt dat die van Galilei meer blijken te kloppen. McClellan brengt vooral Galilei, Descartes en in mindere mate Kepler in verband met Newton. Dat doet McClellan, omdat de wetenschappelijke revolutie bij hem de mechanisatie van het wereldbeeld is. Hoewel hij meldt dat het niet gaat om een rechte lijn, lijkt die lijn via Galilei en Kepler naar Descartes te gaan en vervolgens vervolmaakte Newton, met zijn *Principia* de mechanisatie van het wereldbeeld. Descartes wordt bij McClellan ook gebruikt vanwege zijn

<sup>23</sup> McClellan & Dorn, *Science and technology in world history*, 263.

<sup>24</sup> *Ibidem*, 252.

<sup>25</sup> Isaac Newton, *Opticks*, 125-129.

<sup>26</sup> *Ibidem*, 30 en 126.



wiskunde, die in de visie van Cohen juist losstaat van zijn werk in natuurfilosofie. Zo lijkt Descartes bij Cohen wat ouderwets met zijn wereldbeeld in min of meer Aristotelianse stijl, waar hij bij McClellan meer vooruitkijkend lijkt en de weg vrij lijkt te maken voor Newton en zijn krachtbegrip.

Naast de personen van Hooke en Huygens die van groot belang zijn voor het betoog van Cohen en die zeker in verband met Newton invloed hebben gehad blijft ook Boyle erg achter bij McClellan. Boyle is voor Cohen de 'kampioen van het experiment' en in die hoedanigheid ook iemand die bij de vijfde revolutionaire transformatie van zich deed spreken met zijn pogingen willekeur in het natuuronderzoek in te perken. Juist dat waar Newton vooral met *Opticks* voor stond en in geslaagd is in de visie van Cohen. Ook Boyle komt in de visie van McClellan niet anders dan sporadisch naar voren, juist omdat hij net als Hooke en Huygens niet past in het idee van een mechanistisch wereldbeeld.

Kortom wat McClellan over Newton en *Opticks* in verband brengt met de wetenschappelijke revolutie is een stuk magerder dan in het werk van Cohen. Zelfs als *Isaac Newton en het ware weten* niet in de vergelijking meegenomen zou worden, waren Hooke, Boyle en Huygens veel beter vertegenwoordigd bij Cohen. Zij zijn het die in de visie van Cohen samen met Newton respectievelijk de vijfde en vierde revolutionaire transformatie volbrengen die Newton in staat stelde zelf de laatste transformatie te volmaken. Van dat alles is niets terug te vinden bij McClellan, waar Huygens een pure Cartesiaan is en Hooke slechts in verband met een enkel experiment wordt genoemd, datzelfde geldt voor Boyle die niet verder komt dan een enkel experiment en vooral zijn luchtpomp wordt in dat verband door McClellan aangehaald.

Ook de rol van het experiment met betrekking tot Newtons theorie over licht en kleur blijft bij McClellan erg achter. Cohen beschrijft uitgebreid hoe hij tot die ideeën is gekomen, McClellan alleen dat hij die ideeën opdeed, niet het hoe. Daardoor speelt die kant van Newton bij McClellan een minder grote rol in de wetenschappelijke revolutie en daardoor staat *Opticks* in de schaduw van *Principia* die wel veelvuldig door McClellan wordt aangehaald. Cohen heeft Newtons lichttheorieën meer nodig, omdat die passen in zijn systeem van transformaties, waar *Opticks* een rol speelt bij de vijfde en de zesde transformatie. McClellan heeft een ander idee van de wetenschappelijke revolutie en daardoor wordt *Opticks* minder uitgebreid behandeld.

### Vermij – McClellan & Dorn – Cohen

Bij de vergelijking tussen McClellan en Cohen, wordt nu het werk van Vermij vergeleken, met betrekking tot *Opticks* boek I en Newton in verband met de wetenschappelijke revolutie.

Vermij heeft in tegenstelling tot McClellan en Cohen geen plek voor Newton als de grootste revolutionair van de wetenschappelijke revolutie. Hij is wél degene die de revolutie afrondt en wordt de grootste wetenschapper genoemd, maar degene die bij Vermij de centrale rol speelt, is Descartes. Het mechanische wereldbeeld zoals Descartes dat uitlegt in zijn *Philosophiae Naturalis* is hét hoogtepunt van de wetenschappelijke revolutie<sup>27</sup>. Vanaf dat moment is het in de ogen van Vermij ook gerechtvaardigd om te spreken van natuurwetenschap, waar McClellan dat al veel eerder doet en Cohen pas bij Newton een parallel legt met de moderne natuurwetenschap. Vermij legt nog geen link met moderne wetenschap bij Newton, omdat hij vindt dat Newton niet daadwerkelijk een nieuw wereldbeeld schetst en daardoor geen echte breuk is met dat wat er voor Newton heeft plaatsgevonden<sup>28</sup>.

Vermij geeft aan dat wat Newton feitelijk deed niets anders was dan een correctie en nadere invulling van wat Descartes al eerder had gedaan. Vermij legt daardoor een verband tussen Descartes en Newton, waar Cohen vooral een breuk ziet en aangeeft hoe Descartes min of meer ouderwets is met zijn wereldbeeld dat verklaard wordt door eerste beginselen en waarbij het experiment slechts ter illustratie dient. Cohen ziet een breuk waar Vermij continuïteit ziet.

Vermij legt daarnaast het belang van Newton niet zozeer bij zijn feitelijke ontdekkingen, maar ook in het feit dat hij tijdgenoten een gezaghebbend model bood van wat wetenschap behoorde te zijn. Dat is ook terug te zien bij Cohen, die zeker in verband met *Opticks* zelf aangeeft dat Newton willekeur wilde inperken en zelf alleen genoeg nam met wat hij voor zekerheid kon aannemen en dat hij dat ook van andere onderzoekers verwachtte. Newton schiep als het ware een heel nieuwe wetenschappelijke methode, daar zijn zowel McClellan als Cohen het over eens.

Vermij behandelt weinig met betrekking tot de inhoud van *Opticks*. Alleen de uitvinding van de spiegeltelescoop door Newton wordt genoemd en Newtons werk met licht in het algemeen krijgt een plaats, waarbij Vermij aangeeft dat Newton een uitstekende experimentator was. Dat is wel een belangrijk punt wat Vermij maakt, juist omdat dit in het werk van Cohen een belangrijke positie krijgt en omdat het experiment centraal staat in *Opticks*. Bij zijn lichttheorieën was het voor Newton van groot belang dat hij goed kon overbrengen wat duidelijk wilde maken, dat bleek al in 1672 na zijn eerste publicatie. Toch staat dit in schril contrast met McClellan en vooral Cohen die in *de Herschepping* al allerlei voorbeelden geeft van wat Newton in *Opticks* behandelt en geeft daarnaast aan waarom dat boek in zijn optiek ook tot het eindpunt van de wetenschappelijke revolutie behoort.

Vermij behandelt naast zijn algemene opmerking over het licht net als Cohen de verklaring van de regenboog volgens Descartes. Vermij ziet dit als één van de hoogtepunten van zijn werk, waar Cohen Descartes' verklaring van de

<sup>27</sup> Rienk Vermij, *Kleine geschiedenis van de wetenschap* (Amsterdam, 2007), 82-83.

<sup>28</sup> *Ibidem*, 106.

regenboog juist ziet als een tussenstap naar de verklaring van Newton zoals hij deze geeft in *Opticks*. Vermij laat niet zien hoe Newton hierop verder ging, waar Cohen dat wel doet en laat zien hoe Newton zelfs berekeningen voor de uiterste kleuren in het spectrum geeft. Vermij gebruikt Descartes' verklaring als illustratie, waar Newtons verklaring van de regenboog een belangrijk onderwerp is in de *Opticks* in de visie van Cohen. Newton zelf zag het werk van Descartes ook als een tussenstap, die Descartes zelf niet kon maken doordat hij geen goed idee had over wat licht eigenlijk inhoudt<sup>29</sup>. Bijna aan het eind van boek I legt Newton uit hoe hij middels een nieuw experiment de regenboog verklaard<sup>30</sup>.

De rol van het experiment met betrekking tot Newtons lichttheorie blijft bij Vermij compleet achterwege, Vermij vermeldt alleen dat hij een groot experimentator was, maar het hoe en waarom blijft onduidelijk<sup>31</sup>. Daardoor komt *Opticks* bij Vermij nauwelijks uit de verf, op een paar algemene zinnen na. Daardoor staat een werk dat bij Cohen toch van grote importantie is, bij Vermij in de schaduw van de *Principia*. Daarnaast staat Newton bij Vermij niet op een voetstuk, maar staat hij naast Descartes. Daarmee krijgt Descartes bij Vermij een veel belangrijker rol dan bij McClellan en Cohen. McClellan ziet Descartes als een soort voorbereider voor Newton en Cohen ziet hem als één van de revolutionairen, niet als dé revolutionair.

Bij Vermij is er wel sprake van iets als een experimentele traditie, maar geen echt revolutionaire beweging zoals die bij Cohen te zien is. Bij Vermij gaat het daar meer om incidenten, om individuen die min of meer bij toeval iets groots bereiken<sup>32</sup>. Cohen ziet Newton aan het eind staan van een revolutionaire traditie die uiteindelijk in de handen van diezelfde Newton een nieuwe kant op gaat, die van de moderne natuurwetenschap, met zeer gerichte experimenten. Van een dergelijke traditie is bij Vermij weinig te merken. Bij zowel Vermij als Cohen begint die experimentele traditie met vallen en opstaan, alleen groeit de experimentele traditie van Cohen daar overheen en heeft die uiteindelijk een belangrijk aandeel in de derde transformatie (binnen de experimentele traditie zelf), de vijfde en de zesde transformatie. Voor die invloed is bij Vermij en McClellan geen ruimte, doordat de wetenschappelijke revolutie bestaat uit de mechanisering van het wereldbeeld en niet het samenkomen van drie verschillende tradities in de 17<sup>e</sup> eeuw, zoals dat het geval is bij Cohen. Daardoor hebben beiden slechts ruimte voor een experimentele methode die zich in de marge enigszins ontwikkelt.

Van de concurrenten van Newton zoals Cohen die omschreef krijgt Huygens een vrij prominente plaats in het werk van Vermij. Dit vooral in tegenstelling met de plek die McClellan hem geeft. Huygens is in de ogen van Vermij vooral belangrijk geweest voor één bepaalde vorm van wiskunde, de mechanica. Vermij haalt daarbij net als Cohen zijn botsingsregels aan. Het verband waarin beide de botsingsregels zien is dan wel weer verschillend. Cohen ziet Huygens' botsingsregels als één van de belangrijkste ontwikkelingen onderweg naar een koppeling van Athene-plus aan Alexandrië-plus in wat hij ziet als de vierde revolutionaire transformatie. Huygens is voor Cohen iemand die als het ware tussen Descartes en Newton staat, bij Vermij staat hij meer naast Descartes op een onderwerp waar Descartes zelf niet zo sterk was, de mechanica. Huygens wordt door Vermij meer gezien als een wiskundige en bij McClellan in feite meer als een echte Cartesiaan. Cohen ziet Huygens als een kruising tussen beide in zijn rol in de vierde transformatie, waar hij een beetje van beiden is, maar net teveel deeltjes-denker om de transformatie in zijn eentje te kunnen voltrekken, doordat hij struikelt over het 'krachtbegrip'.

Voor Hooke en Boyle geldt bij Vermij hetzelfde als in het werk van McClellan. Zij staan in de schaduw van mensen als Descartes en Newton en worden alleen in verband met experimenten met de luchtpomp aangehaald<sup>33</sup>. Hun magere positie is te verklaren uit het feit dat zij niet zozeer aan de echte mechanisatie van het wereldbeeld hebben bijgedragen, juist dat wat bij zowel McClellan en Vermij zo centraal staat. Bij Cohen staat het samenkomen van de drie verschillende vormen tot een nieuwe wetenschappelijke methode centraal, daarin spelen Hooke en Boyle een belangrijker rol dan in de pure mechanisatie van het wereldbeeld, daarin zijn Descartes en Newton het belangrijkste. Hooke heeft met zijn experimenten en dan vooral die met betrekking tot licht nieuw onderzoek van Newton aangewakkerd en Boyle wilde de willekeur in het natuuronderzoek inperken. Beiden zijn voor het onderzoek van Newton van groot belang geweest in de vijfde revolutionaire transformatie in het schema van Cohen. Daar denken Vermij en McClellan dus duidelijk anders over. Beiden hebben Boyle en Hooke niet nodig voor hun wetenschappelijke revolutie, de mechanisering van het wereldbeeld. Cohen heeft ze allebei wel nodig, om Newton zo op de juiste plek uit te laten komen.

Vermij behandelt met betrekking tot de door Newton behandelde onderwerpen in *Opticks* nog minder dan McClellan deed in vergelijking met Cohen. Alleen een verwijzing naar Newtons algemene lichtonderzoek en Descartes' ideeën met betrekking tot de regenboog komen terug in het werk van Vermij. De titel van het boek *Opticks* komt zelfs niet één keer voor in het werk van Vermij. Dat terwijl het voor Cohen samen met de *Principia* geldt als afsluiting van de wetenschappelijke revolutie en als start van een nieuwe wetenschappelijke methode. Cohen omschrijft deze als een methode waarbij je de diepte in moet om de natuur te doorgronden. Daarvoor moet je de taal van de wiskunde verstaan

<sup>29</sup> Isaac Newton, *Opticks*, 169.

<sup>30</sup> *Ibidem*, 168-176.

<sup>31</sup> Vermij, *Kleine geschiedenis van de wetenschap*, 95

<sup>32</sup> *Ibidem*, 84-90.

<sup>33</sup> *Ibidem*, 88.

en het experiment als bron en toetssteen van kennis aanvaarden en toepassen. Op die manier combineert hij de inhoud van de twee boeken van Newton met elkaar.

Daarnaast is vooral de rol die Descartes in vergelijking tot Newton krijgt in het werk van Vermij wezenlijk anders dan de rol die hij krijgt bij McClellan en Cohen. Ook Huygens heeft een andere rol dan bij McClellan en Cohen. Bij McClellan is hij Cartesiaan, bij Vermij een wiskundige en bij Cohen een mix van die twee. Boyle en Hooke komen er bij Vermij hetzelfde vanaf als bij McClellan en zijn daardoor een stuk minder belangrijk dan ze in het werk van Cohen zijn.

Vermij heeft nog wel ruimte voor een aparte paragraaf over een experimentele traditie, maar die is minder belangrijk dan die traditie bij Cohen. Ook heeft Vermij geen ruimte voor Newton in zijn experimentele traditie, waar Cohen juist aangeeft dat Newton aan het einde staat van de transformaties vijf en zes waar het experiment mee te maken heeft in zijn visie.

### Henry – Vermij – McClellan & Dorn - Cohen

De laatste visie die in de vergelijking met betrekking tot *Opticks* behandeld wordt is de visie van Henry. Deze visie met betrekking tot de wetenschappelijke revolutie wordt vergeleken met de visies van Vermij, McClellan & Dorn en Cohen.

Henry ziet Newton net als McClellan en Cohen als dé belangrijkste man binnen de wetenschappelijke revolutie. De positie van Newton is vergelijkbaar met zijn positie binnen het werk van McClellan. Beiden zien de wetenschappelijke revolutie als de mechanisering van het wereldbeeld, waar Newton uiteindelijk verantwoordelijk voor was. Dat Henry de mathematisering van het wereldbeeld pas voltooid ziet bij Newton kan te maken hebben met het feit dat hij als Engelsman van jongs af aan is opgegroeid met de 'Master Narrative', waarbij Newton met afstand de belangrijkste persoon is binnen het geheel van de wetenschappelijke revolutie.

Bij Henry komt de titel *Opticks* nauwelijks in het werk voor. Waar het Newton betreft houdt Henry het net als Vermij bij de *Principia*, die bij alle vier de schrijvers overigens een grote rol speelt binnen de wetenschappelijke revolutie. Als Henry *Opticks* behandelt, doet hij dat in combinatie met *Principia*. Daarbij geeft Henry aan dat de combinatie van de twee hét hoogtepunt van de wetenschappelijke revolutie is, zeker als het gaat om natuuronderzoek in Engeland<sup>34</sup>. Met die visie schaaft Henry zich naast Cohen, die de combinatie van beide werken ook als het hoogte- en eindpunt van de wetenschappelijke revolutie ziet. McClellan heeft ook een belangrijke rol voor *Opticks* weggelegd, maar die is toch ondergeschikt aan de *Principia*. Bij Vermij ten slotte komt *Opticks* helemaal niet voor en ook de beschreven fenomenen worden nauwelijks behandeld, op een enkele uitzondering na. Dat zou er mee te maken kunnen hebben dat *Opticks* in tegenstelling tot *Principia* minder wiskundig van aard is en daardoor voor een beschrijving van de wetenschappelijke revolutie als mechanisering en mathematisering van het wereldbeeld van minder groot belang is. Daarnaast heeft Vermij in vergelijking met de andere schrijvers ook nog de minste ruimte ingeruimd voor de persoon van Newton zelf, die zijn voetstuk moet delen met Descartes, waar dat bij de drie andere schrijvers niet nodig is. Newton vervult daar een veel grotere rol dan in de visie van Vermij. Bij McClellan is dat in de mechanisatie van het wereldbeeld dat culmineert met de *Principia*, bij Henry is dat ook een mechanisering van het wereldbeeld. Die mechanisering vindt bij hem plaats door middel van beide grote boeken van Newton.

Henry onderscheidt in zijn werk net als Vermij en Cohen ook een experimentele methode. Daartoe rekent hij in tegenstelling tot Cohen ook mensen als Galilei. Galilei komt bij Cohen juist voor in de wiskunde, om hem af te zetten tegen mensen als Descartes. Henry onderscheidt daarnaast een continentale en een Engelse experimentele traditie. De traditie van Galilei is anders dan die van mensen als Boyle en Hooke<sup>35</sup>. Daarnaast rekent Henry Newton ook niet tot de Engelse experimentele traditie. Hij behandelt net als Vermij Newton alleen in zijn rol in de mechanisering van het wereldbeeld. Cohen behandelt Newton in zijn vijfde revolutionaire transformatie als een experimentalist, die daarnaast tijdens de zesde revolutie alle vormen van natuurkennis wist samen te voegen. Cohen onderscheidt wel twee min of meer verschillende experimentele methoden, maar de één ontwikkelt zich uit de ander, en doordat het Europese continent tussen 1620 en 1650 bijna in een staat van anarchie terechtkomt is de getransformeerde experimentele traditie bij Cohen wel geheel Engels<sup>36</sup>. Dat Henry Newton niet als experimentalist ziet is gezien de rol die hij *Opticks* toedicht vreemd, aangezien het experiment in *Opticks* een centrale rol speelt. Zonder die experimenten had Newton met zijn lichttheorie geen poot om op te staan en zou hij juist overkomen als een Aristoteliaan of Cartesiaan, figuren waar hij zich juist tegen af wilde zetten.

Henry heeft in zijn werk ook nog enige ruimte om magie en de invloed daarvan op het werk van Newton te bespreken. Naast Henry doet alleen Cohen dat. Bij Cohen vindt Newton in de alchemie antwoorden met betrekking tot actieve principes<sup>37</sup>. Ook bij Henry is dat het geval, daarnaast trekt Henry een analogie tussen *Opticks* en Newtons voorliefde voor het getal zeven<sup>38</sup>. Daarvan komt inderdaad wat terug als het gaat om de experimenten in *Opticks*. Zo komt Newton

<sup>34</sup> John Henry, *The scientific revolution and the origins of modern science* (Londen, 2008), 76.

<sup>35</sup> Henry, *The scientific revolution*, 52.

<sup>36</sup> Cohen, *de Herschepping*, 184.

<sup>37</sup> Cohen, *Isaac Newton en het ware weten*, 99-108.

<sup>38</sup> Henry, *The scientific revolution*, 64.

als hij het witte licht breekt inderdaad op een spectrum van zeven kleuren, deze zijn dan weliswaar nog wel onder te verdelen in een oneindig aantal tussenschijven, iedere denkbare kleur zit daar tussen. Daarnaast komt in *Opticks* ook de analogie tussen de zeven kleuren (rood, oranje, geel, groen, blauw, indigo en violet) en de zeven noten in een octaaf naar voren. Hij deelt de zeven kleuren op, zoals dat ook met de noten in een octaaf gebeurt<sup>39</sup>.

Hiermee gaat Henry wel in op iets waar geen van de andere drie schrijvers echt op ingaat. Dat heeft er mede mee te maken, dat de andere schrijvers dat als iets triviaals zouden kunnen zien. Voor het werk van Henry is dit zeker wel van belang, omdat hij een historiografisch overzicht schrijft, waar een paragraaf dan wel een hoofdstuk over wat wij tegenwoordig als magie zien zeker niet mag ontbreken. Zeker omdat iets als alchemie een enorme bron van invloed is geweest, en niet alleen voor iemand als Newton.

In tegenstelling tot Vermij en McClellan ziet Henry, wellicht omdat hij zelf een Engelsman is, een belangrijke rol weggelegd voor Hooke<sup>40</sup>. Henry geeft aan dat zonder Hooke, Newton wellicht nooit had doorgezet om te zoeken naar een bewijs dat datgene wat een appel op de aarde laat vallen, hetzelfde is als dat wat de maan in zijn baan om de aarde laat draaien. McClellan geeft in dat verband aan dat vooral de rol van de *Royal Society* van invloed is geweest.

## Conclusie

Cohen wijkt qua opzet nog het meest af van zijn drie collega's, dat zit hem vooral in het doel waarmee de schrijvers hun werk zijn begonnen. Henry's werk is een historiografisch overzicht van visies met betrekking tot de wetenschappelijke revolutie en allerlei aspecten die daarbij horen. Daardoor is dat werk wat daaruit voortkomt een beschrijving. Datzelfde geldt voor Vermij, die een soort schoolboek heeft geschreven wat een kort overzicht schetst van de, in zijn ogen, belangrijkste gebeurtenissen in het natuuronderzoek. Ook McClellans werk behelst een beschrijving, alleen dan wel een ander soort beschrijving dan de werken van Henry en Vermij. McClellan beschrijft de relatie tussen technologie en wetenschap door de geschiedenis van de mensheid heen. Dat is dus ook een beschrijving alleen dan met een ander doel dan bij Henry en Vermij. Cohen gaat in zijn *Herschepping* verder dan beschrijven. Hij verklaart het ontstaan van de moderne natuurwetenschap. Dat doet hij door onderscheid te maken tussen de verschillende vormen van natuurkennis. Daardoor ontstaat een soort spanningsveld tussen de verschillende vormen van natuurkennis, dat langzaam wordt weggevoerd in de vierde, vijfde en zesde transformatie. Dat spanningsveld is vooral bij Vermij afwezig, doordat hij Descartes zoveel wiskunde toekent. Die wiskunde staat bij Cohen los van de Atheense natuurfilosofie van Descartes. Doordat Vermij dat zo beschrijft is er voor Huygens een rol in de schaduw weggelegd in vergelijking met zijn rol bij Cohen en is er voor Newton ook minder werk te doen, doordat de verschillende spanningsvelden niet opgeheven hoeven te worden, iets wat in de visie van Cohen door onder anderen Huygens wordt gedaan. Juist door die spanningsvelden binnen het werk van Cohen is er ruimte voor revolutionairen als Huygens, maar ook Boyle en Hooke. Die zijn onmisbaar in het werk van Cohen, omdat een stap van Descartes naar Newton bij zijn verklaring onmogelijk is. Dat terwijl die stap bij Vermij wel mogelijk is, doordat de mechanisering van het wereldbeeld bij hem bij Descartes plaatsvindt. Dat laatste geldt overigens ook voor zowel Henry als McClellan die beiden een min of meer rechte lijn lijken te trekken tussen de filosofie van Descartes en de natuurwetenschap van Newton. Daarbij is bij alle drie de beschrijvers vaak slechts een minieme rol weggelegd voor Huygens, Boyle en Hooke. In de visie van Cohen is Newton uniek, terwijl bij de andere drie schrijvers in theorie de rol van zowel Descartes als Newton ook door iemand anders ingevuld had kunnen worden. Cohen ziet het samenkomen van zijn drie vormen van natuurkennis, de wiskunde, de filosofie en de experimentele methode namelijk als dé wetenschappelijke revolutie. Dat gebeurde in de handen van Newton, die zowel kon omgaan met 'deeltjes-in-beweging', wiskunde als met een occult begrip van kracht. Dat Newton deel was van de vierde en vijfde transformatie was van doorslaggevend belang in de wetenschappelijke revolutie, zo kon alleen hij de revolutie vervolmaken.

Wel is er bij McClellan, Vermij en Henry nog ruimte voor iets dat lijkt op een experimentele traditie zoals die bij Cohen mede door Bacon wordt vormgegeven. Wel vindt die traditie dan zowel bij McClellan als bij Henry in de marge plaats en is daar weinig serieuze ruimte voor naast het hoofdthema, de mechanisering van het wereldbeeld. Henry maakt daarnaast nog een onderscheidt tussen het experiment in Engeland en dat op het continent.

Doordat Henry ook een pure beschrijving van de wetenschappelijke revolutie levert, verdwijnen Hooke, Boyle en Huygens bij hem ook naar de achtergrond. Descartes neemt hier ook een deel van de wiskunde voor zijn rekening, niet alle, daarin is nog wel een plaats voor Huygens. Boyle en Hooke komen voor in de experimentele traditie die in Henry's visie net als die van McClellan vooral in de marge zit en gebruikt wordt ter illustratie van experimenten die worden uitgevoerd, bijvoorbeeld met de luchtpomp.

*Opticks* zelf heeft ook een rol in de marge, doordat dit boek minder wiskundig van aard is en daardoor een kleinere plaats krijgt in een beschrijving over de totstandkoming van een mechanistisch wereldbeeld. Dat beeld kwam eerder vooral bij Vermij naar voren. Het vreemde daarvan is bij Henry wel dat hij *Opticks* in combinatie met *Principia* als hoogtepunt ziet van de wetenschappelijke revolutie, maar doordat het hier om de mechanisering van het wereldbeeld gaat *Opticks* en de door Newton gebruikte ideeën daarvan nauwelijks een plaats krijgen in zijn werk.

<sup>39</sup> Isaac Newton, *Opticks*, 154.

<sup>40</sup> Henry, *the scientific revolution*, 64.

Bij Cohen komt duidelijker naar voren dat hij beiden werken samen als een culminatie ziet van de wetenschappelijke revolutie. Juist *Opticks* en Newtons experimentele werk zijn belangrijk in de vijfde experimentele transformatie zoals die is beschreven in *de Herschepping*. Daarnaast speelt *Opticks* ook nog een rol in de zesde transformatie en de vorming van een hele nieuwe wetenschappelijke methode zoals die ontstaat zo rond 1700 in de handen van Newton. Van dat alles is weinig terug te vinden, zeker bij Vermij, die voor Newton en zijn experimenten de minste ruimte over laat. Hij heeft geen ruimte voor experimenten, omdat hij de wetenschappelijke revolutie ziet als de mechanisering van het wereldbeeld. Dat doen Henry en McClellan ook, maar die geven Newton, *Opticks* en het experiment toch wat meer ruimte. Maar nog lang niet zoveel als Cohen. Cohen heeft Newton, *Opticks* en het experiment nodig, om aan het eind van zijn betoog de wetenschappelijke revolutie te kunnen verklaren.

**Twee van de vier cursusboeken, die van McClellan & Dorn en van Cohen, laten zich uit over de wetenschapsgeschiedenis in het ‘niet-Westen’. De auteurs van beide boeken verschillen stevig van mening over de vraag in hoeverre hieraan argumenten te ontleen vallen over het ontstaan van de moderne natuurwetenschap. Leg uit waar die verschillen van mening uit bestaan, en ook hoe ze in hun boeken doorwerken, en lever daar vervolgens een eigen commentaar op.**

Cohen en McClellan schrijven hun werk met een ander doel. Dat is verklaren tegenover beschrijven. McClellan beschrijft vanaf het begin van de geschiedenis van de mens hoe technologie en wetenschap elkaar beïnvloeden. Om dat door de hele geschiedenis van de mens heen te doen maakt McClellan gebruik van de geschiedenis van de mens op bijna elk continent.

Op het moment dat zijn werk aankomt in Europa in de late middeleeuwen en vervolgens de renaissance waar uiteindelijk de wetenschappelijke revolutie uit voortkomt geeft McClellan aan dat de positie van Europa ten opzichte van andere gebieden niet veel beter was. Sterker nog, een civilisatie als die van de Chinezen, was technologisch verder en was dichter bevolkt. Zo geeft McClellan nog enkele voorbeelden waaruit blijkt dat Europa na de Oudheid in een periode van verval terecht kwam, waaruit het niet makkelijk kwam. Vervolgens kwam onder invloed van onder meer de Islambeschaving weer wat McClellan wetenschappelijke kennis noemt in Europa terecht. Langzaam begon het aantal wetenschappers te stijgen, daar kon geen pestepidemie, hongergolf, Honderdjarige- of Dertigjarige oorlog iets aan veranderen. Daarnaast kwamen de universiteiten op, waardoor geïnteresseerden zich konden verdiepen in teksten van de oudheid. Deze kwamen na de invoering van de drukpers steeds algemener in omloop.

McClellan voert in zijn hele betoog steeds aan de wetenschap tot en met de wetenschappelijke revolutie achter technologie heeft aangelopen en niet andersom. Ook in de andere gebieden die McClellan beschrijft is dat het geval. Wetenschap had weinig te bieden voor technologie, dat is veel recenter pas veranderd. McClellan maakt dit kenbaar met een illustratie van Galilei. Deze had deze beste manier gevonden om onder ideale omstandigheden kanonskogels af te vuren. Maar toen Galilei dat bedacht, was volgens McClellan het kanon al zolang in omloop dat er genoeg kennis was over hoe het kanon het best gebruikt kon worden. Ieder hoofdstuk benadrukt McClellan dat wetenschap uiteindelijk tot 1700 niets te bieden had aan technologie en die de wetenschap in feite achter de technologie aanloopt.

Cohen vermijdt door zijn hele betoog heen specifiek de term ‘wetenschap’. Pas vanaf Newton begint Cohen daarover te spreken.

Ook bij Cohen hebben de niet-Westerse vormen van natuurkennis een specifieke betekenis. Cohen hanteert een schema waarin vormen van natuurkennis via botsingen tussen beschavingen cultureel getransplanteerd kunnen worden. Als eerste niet-Westerse vorm van natuurkennis hanteert Cohen de Chinese vorm van natuurkennis. Hij geeft aan hoe inventief en hoe ver deze ontwikkeld was in vergelijking met die in Europa zo rond de renaissance. Eén van de voorbeelden van Cohen is een Chinese waterklok die veel nauwkeuriger is dan een Europese mechanische klok. Het probleem van de Chinese waterklok is dat alle rek uit het systeem er al uitgehaald was, er zat zoals Cohen dat noemt, geen verborgen ontwikkelingspotentieel in. In Europa zat in de die ideeën ontstonden veel meer rek. De Chinese waterklok is in de ogen van Cohen een glorieus doodlopende weg. Dat geldt ook voor de Chinese vorm van natuurkennis als geheel. Als er al sprake was van verborgen ontwikkelingspotentieel is dat er niet uitgekomen, doordat er geen culturele transplantatie heeft plaatsgevonden. Als dat wel het geval dan zal de natuurkennis al dan niet getransformeerd kunnen worden tot iets min of meer radicaal nieuws.

Cohen gebruikt naast de Chinese vorm van natuurkennis ook nog de Islambeschaving als voorbeeld van een glorieus doodlopende weg. Door botsingen tussen beschavingen werd oude Griekse kennis uit Athene en Alexandrië overgedragen naar de Islambeschaving. Daar werd de kennis, die vooral de Atheense kennis behelsde vertaald en verrijkt. Uiteindelijk kwam het hier niet tot een transformatie van wat voor properties dan ook, doordat de Islambeschaving zich naar binnen keerde.

Vervolgens werd een deel van de natuurkennis van de Islambeschaving via de *Reconquista* in Spanje teruggebracht naar Europa. Ook deze culturele transplantatie was geen succes, doordat het vooral de Aristoteliaanse kennis was die werd overgedragen en er daardoor vanzelf in cirkels geredeneerd werd, zoals dat ook al Griekenland zelf gebeurde na de opschorting van het oordeel.

De volgende culturele transplantatie, die de kennis rechtstreeks van Constantinopel naar Europa bracht vond plaats na de verovering van Constantinopel door de Ottomanen in 1453. Zo kwam Europa voor het eerst in anderhalf millennium weer direct in aanraking met de Griekse vormen van natuurkennis. Deze wisten zich, tegen elke verwachting in te transformeren tot iets niets, waaruit uiteindelijk de moderne natuurwetenschap ontstond. Zo vond er na de botsing van beschavingen een culturele transplantatie plaats, die gevolgd werd door een transformatie. Normaliter was het zo dat na die transformatie er een periode van bloei zou zijn, waarna er weer een neergang zou plaatsvinden. Zo is dat voor de renaissance in Europa met elke vorm van natuurkennis die Cohen behandelt in zijn betoog gegaan. Alleen die neergang kwam er niet, en dat is wat Cohen in *de Herschepping* probeert aan te geven: dat er na de periode van opbloei van natuurkennis in Renaissance Europa geen neergang kwam is niet gewoon. Elke andere opbloei van natuurkennis in de geschiedenis werd gekenmerkt door een opbloei, een gulden tijdperk en vervolgens een neergang. Na het gulden tijdperk volgde in Europa in plaats van een neergang een transformatie, iets wat door de ogen van de trendwatcher gezien niet te voorspellen viel.

Cohen en McClellan trekken andere conclusies met betrekking tot niet-Westerse vormen van natuurkennis. Voor Cohen is er geen innerlijke noodzaak dat de wetenschappelijke revolutie in Europa plaatsvond. Een eerdere culturele transplantatie had zich ook kunnen transformeren en dan was een ander deel van de wereld overheersend geweest. Voor McClellan is die noodzaak er ook niet. Alleen ziet hij nergens een verband tussen technologie en wetenschap. Juist dat is wat er gaat plaatsvinden in Europa vanaf 1600, na de transformatie van het corpus van natuurkennis dat in de renaissance is getransplanteerd. Beiden kijken met andere ogen naar de ontwikkeling van natuurkennis. Cohen kijkt naar niet-Westerse natuurkennis om illustratief aan te geven dat een transplantatie niet noodzakelijk in Europa plaats hoefde te vinden. Bij McClellan vindt juist de link technologie – wetenschap plaats in Europa na 1700 doordat deze nergens anders plaats had kunnen vinden.

Het schema dat Cohen biedt om zijn visie over de wetenschappelijke revolutie over te brengen en uit te leggen hoe vormen van natuurkennis zich ontwikkelen komt overtuigender over dan McClellan, die juist bij hoog en bij laag blijft beweren dat technologie door de eeuwen heen op de wetenschap vooruit heeft gelopen. Daar is ook wel een parallel in te vinden in het werk van Cohen, zoals bijvoorbeeld die Chinese waterklok. Juist doordat McClellan op zoek gaat naar de link tussen technologie en wetenschap in de geschiedenis van de mens is het een noodzaak om enorm veel civilisaties te beschrijven. Voor Cohen is het noodzaak om aan te geven hoe speciaal het is dat juist die ene transplantatie in de renaissance in Europa stand hield en geen periode van verval kende. Dat geeft hij ook meerdere malen aan, onder meer door een heel hoofdstuk ‘Europa door het oog van de naald’ te noemen. Daarbij toont hij aan hoe precair de situatie in Europa wordt tussen 1620 en 1650, door in te gaan op religieuze kwesties en de staat van totale anarchie waarin Europa dreigt op te gaan. Uiteindelijk brengt de vrede van Westfalen in 1648 uitkomst waarna er met de stichting van de *Royal Society* en de *Academie de Sciences* daadwerkelijk toekomst lijkt voor stelselmatig natuuronderzoek in Europa. Juist door die situaties steeds zorgvuldig uit te leggen komt het betoog van Cohen zo over, dat het ook zo speciaal is wat er in Europa plaatsvond. Doordat McClellan steeds aangeeft dat Europa niet zo speciaal op het moment dat de wetenschappelijke revolutie zich inzette krijg je het idee dat de wetenschappelijke revolutie zich ook op een andere plek ter wereld voor had kunnen doen. Iets wat volgens Cohen mogelijk was als er daadwerkelijk een succesvolle culturele transplantatie had plaatsgevonden met vervolgens een transformatie waar geen neergang op zou volgen. En dat is maar één keer gebeurd, in Europa, tussen 1500 en 1700. Dat is wat Cohen in zijn betoog overtuigender overbrengt dan McClellan.