

Vier kleuren maken geen wit

Vier verschillend gekleurde lichtbundels op Newton's verhandeling over het licht

**Sophie van Rooij, 3878198
Bachelor scriptie Geschiedenis
Docent: prof. dr. Floris Cohen
Dinsdag 4 februari 2014**

Inhoud

Inleiding	3
Isaac Newton, <i>Opticks</i>	5
Floris Cohen, <i>De herschepping van de wereld</i>	8
Rienk Vermij, <i>Kleine geschiedenis van de wetenschap</i>	11
John Henry, <i>The Scientific Revolution and the Origins of Modern Science</i>	14
James McClellan & Harold Dorn, <i>Science and Technologie in World History</i>	16
Een analyse van het debat	18
De wetenschap van de discussie	20
De Conclusie	22
Literatuurlijst	23

Inleiding

Heden ten dage lijkt het geloof in wetenschap het geloof in religie te hebben vervangen in deze maatschappij. Een vergelijking tussen religie en haar mogelijke plaatsvervanger, wetenschap, is dan al snel gemaakt. En in bepaalde opzichten is dat niet eens zo gek. Het wetenschappelijk bedrijf is complexer dan ooit te voren met een bijna onbegrensd aanbod aan faculteiten, studierichtingen en onderzoeksprojecten. Er zijn ontzettend veel specialisaties denkbaar. Deze toename verklaart voor een groot deel de manier waarop de wetenschap is vergroeid geraakt met de maatschappij. Het manifesteert zich haast overal en in het dagelijks leven kan niemand er echt omheen, in een zekere zin vergelijkbaar met religie een eeuw geleden. Een belangrijke reden voor het ontstaan van al deze specialisaties is de stijging van het aantal wetenschappers sinds de tweede helft van de negentiende eeuw. Aangezien dit collectief van denkers zo ongeveer gelijk staat aan het werkwoord ‘discussiëren’, is het niet verwonderlijk dat ook het aantal meningen en twisten sindsdien enorm is toegenomen. De geschiedenis van de wetenschap is onder andere door zojuist genoemde ontwikkelingen een dermate veelomvattend proces geworden dat ook dit tegenwoordig wordt bestudeerd vanuit een speciaal vakgebied, namelijk dat van de wetenschapshistorici. En zoals het de wetenschapper betaamt, is ook binnen deze discipline menig discussie gaande.

Dit kleine stukje wetenschapsgeschiedenis sluit mooi aan bij het thema van dit werkstuk. De centrale kwestie hier is namelijk zo’n discussie onder wetenschapshistorici. In dit werkstuk wordt vanuit de Wetenschappelijke Revolutie ingezoomd op de Britse geleerde Isaac Newton en vervolgens op een van zijn meest invloedrijke verhandelingen, *Opticks*. Dit zal gebeuren aan de hand van het zojuist genoemde werk van Isaac Newton en vier handboeken die zich voor een groot deel concentreren op de oorsprong van de Wetenschappelijke Revolutie en het ontstaan van de moderne natuurwetenschap. De actoren in de discussie zijn dus de auteurs van de verschillende handboeken, respectievelijk Floris Cohen, Rienk Vermij, John Henry en James McClellan & Harold Dorn. Van groot naar klein zijn de onderwerpen die in deze discussie een rol spelen: *Opticks*, Isaac Newton en de ontwikkelingen die de Wetenschappelijke Revolutie vormden. De hoofdvraag is welke plaats Newton en zijn *Opticks* wordt toebedeeld in het betoog van de verschillende auteurs. Ik kan alvast ‘verklappen’ dat deze plaats in sommige opzichten nogal verschilt van auteur tot auteur. Het hoofddoel van het werkstuk is dan ook het formuleren van een verklaring voor dit meningsverschil. De volgende alinea zal een beschrijving geven van de weg die ons bij die verklaring zal brengen.

Allereerst werpen we een blik op *Opticks* zelf, zonder de handboeken erbij te betrekken. Het idee is om op voorhand zo veel mogelijk afstand te nemen van eventuele voorkennis. Een combinatie van een zogenaamde *beginner's mind* en een kritische blik is ideaal. Dit is ook de manier waarop het zal worden besproken in het eerste hoofdstuk. Daarna gaan we ons concentreren op de discussie tussen de auteurs. Aangezien Newton op zich, en eventueel ook *Opticks*, maar een relatief klein onderdeel vormt van het gehele betoog van de auteurs, is het belangrijk dat deze context ook wordt besproken. Daarom zal ik aan het begin van de bespreking van elk van de boeken de structuur van het betoog bespreken. Het gaat in dit geval meestal niet om het hele betoog van het boek, maar om het deel ervan dat betrekking heeft op de Wetenschappelijke Revolutie. In de rest van de behandeling komen twee zaken aan bod: de plek die Newton in het boek inneemt en welke rol er is weggelegd voor *Opticks*. Deze vragen zijn enkel te beantwoorden door een stukje uit te zoomen van de casussen *Opticks* en Newton, naar de casus Wetenschappelijke Revolutie of het ontstaan van de moderne natuurwetenschap. Pas wanneer de thematiek van het boek bekend is, kan worden achterhaald welke positie Newton en zijn werk krijgen toegewezen. Uiteraard volgt na elke bespreking een korte conclusie. Al deze conclusies zullen samenkomen in het zesde hoofdstuk

waarin de vergelijking van Newton's positie in de verschillende werken zal plaatsvinden. Het vergelijken van verschillende punten zal gepaard gaan met het zoeken naar verklaringen. Het zevende hoofdstuk is gereserveerd voor een behandeling van de vraag wat de sterke meningsverschillen in de boeken zeggen over de geschiedwetenschap als wetenschap. Hierover later meer. Het werkstuk zal worden afgerond met een conclusie.

Voordat we van start gaan, zou ik graag een alinea wijden aan de relevantie van het onder de loep nemen van deze discussie. Het is een casus die eigenlijk net op de scheidslijn tussen natuurfilosofie en de moderne natuurwetenschap ligt. Volgens de een is Newton de laatste speler in de eerstgenoemde stroming, volgens de andere zat hij op de eerste rij in de beginjaren van de als tweede genoemde stroming en een derde partij beweert dat hij zich in beide stromingen profileerde. Het is in ieder geval zeker dat hij nog steeds onderdeel is van de moderne natuurwetenschap. *Opticks* is hier een prachtig voorbeeld van. De experimenten die hij hierin bespreekt, worden heden ten dage nog steeds op een soort gelijke manier uitgevoerd tijdens de natuurkundelessen op de middelbare school. Ook dient de bespreking van de casus als een goed voorbeeld voor de manier waarop een discussie er in de geschiedwetenschap aan toegaat. Het nader bestuderen van zo'n kwestie geeft ook inzicht in de opbouw van de argumentatie en het toont het belang van de grote context aan. De aandacht voor discussie leidt ons ook tot de vraag die ik in de vorige alinea al stelde: wat betekenen deze meningsverschillen voor de geschiedkunde als wetenschap? Een gebrek aan consensus zal tot weinig concreets leiden. Echter zijn dat nou juist de zaken die volgens velen de wetenschap tot een voor de wereld nuttige sector maakt. Ondermijnen de verschillende visie's binnen het vakgebied het geloof in deze tak van wetenschap? Tegen het eind van het werkstuk komen we hier uitvoerig over te spreken en zal blijken dat niet alleen de geschiedwetenschap met deze kwestie te maken heeft. Voor nu een bespreking van de verhandeling waarmee een werkelijk geloof in wetenschap ooit is begonnen, Newton's *Opticks*.

Isaac Newton, Opticks

De verhandeling van Newton bestaat uit drie boeken, met elk verschillende delen. In dit werkstuk wordt enkel gekeken naar het eerste boek. Dit omvat twee delen die zijn opgedeeld in de categorieën *definitions*, *axioms* en *propositons*. In de eerstgenoemde legt Newton de hoofdbegrippen die in het werk worden gehanteerd kort uit. Het onderdeel *axioms* heeft tot doel het geven van een relatief kort overzicht van de bestaande kennis in de optiek tot dusver. De *axioms* kunnen worden beschouwd als de grondstellingen waarop Newton in zijn boek verder bouwt. Dat uitbreiden van bestaande kennis gebeurt in de laatste categorie. De vertaling die ik voor het woord *proposition* zal gebruiken is ‘voorstel’. Telkens wanneer hij een nieuw voorstel aandraagt, staat achter het nummer van het voorstel ofwel ‘*Theor.*’, ofwel ‘*Prob.*’ gevolgd door een nummer. In zijn voorstellen maakt Newton dus een onderscheid tussen theorem, stellingen, en waarschijnlijkheden, er vanuit gaand dat ‘*Prob.*’ voor *probability* staat. Elk voorstel bestaat vervolgens uit tenminste het onderdeel *Experiment*, vaak aangevuld door *Illustration* en soms wordt het afgesloten met het onderdeel *Scholium*. In het eerste deel worden uiteraard experimenten beschreven, het tweede dient als toelichting bij de opstelling van het experiment en het derde deel is een bijgevoegde aantekening. Nu de structuur van het voor dit werkstuk relevante deel van *Opticks* duidelijk is, wil ik de rest van het hoofdstuk gebruiken om zaken die mij tijdens de lezing zijn opgevallen te bespreken.

Allereerst aandacht voor Newton’s ambities in de grote zin van het woord. Het gaat hier niet om de details, dat komt later, maar om de grote richtlijnen. Een citaat van de eerste zin van het werk zal dit direct duidelijk maken: ‘My Design in this Book is not to explain the Properties of Light by Hypotheses, but to propose and prove them by Reason and Experiments’ (p. 1). Hij schrijft dat hij de eigenschappen van het licht zal voorstellen en zal bewijzen, aan de hand van het verstand en experimenten. Dit betekent dat hij zichzelf door het hanteren van een bepaalde onderzoeksmethode in staat acht waarheidsgetrouwe uitspraken over de eigenschappen van het licht te doen. Waarheidsgetrouw, omdat hij een (correct) bewijs levert. Zijn ambitie is dus het leveren van zekere kennis. In het verstand en het experiment ziet hij een manier waarop hij deze ambitie kan verwezenlijken. De structuur van het werk, zoals in de vorige alinea is besproken, sluit zeer goed aan bij dit doel. Hij stelt inderdaad een stelling voor met achtereenvolgens enkele beschrijvingen van experimenten, waarin hij heel vlot consistent redeneert en verbanden weet te leggen in de vorm ‘als dit, dan dat’. Dit illustreert wat mij betreft heel duidelijk welke rol het verstand in zijn bewijzen speelt. Een stuk minder duidelijk is echter Newton’s wisselende gebruik van de woorden *theorem* en *probability*. Het begin van een voorstel kan er op twee manier uitzien. Vorm 1: ‘*PROP. I. Theor. I.*’ met vervolgens het voorstel en daaronder de zin ‘The Proof by Experiments’ (p. 20). Vorm 2: ‘*PROP. IV. Prob I.*’ met vervolgens het voorstel (p. 64). Uit het citaat aan het begin van de alinea is op te maken dat Newton geen hypothesen in zijn uitleg toelaat. Bij mij rees direct de vraag welk verschil er volgens hem bestaat tussen een hypothese en een waarschijnlijkheid. Hoewel het op het eerste oog dus niet duidelijk is, vermoed ik dat hij toch consistent is geweest. In de eerste plaats geeft hij bij elk voorstel duidelijk aan wat de bedoeling ervan is. Wanneer de lezer in de titel ‘*Prob.*’ aantreft, weet hij of zij dat Newton in dit voorstel zichzelf niet tot doel heeft gesteld een theorie te bewijzen. De zin ‘The Proof by Experiments’ is dan ook altijd weggelaten, zelfs wanneer daarna enkele beschrijvingen van experimenten volgen. In de tweede plaats verschilt de inhoud van een dergelijk voorstel met die van de andere variant. De inhoud is een stuk vrijer, de ene keer geeft hij een instructie voor het inkorten van een telescoop (p. 107), de andere keer lijkt hij al schrijvend tot assumpties te komen (p. 179). In zijn inleidende zin heeft hij dus niets teveel gezegd. We hebben het tot nu toe vooral gehad over de manier waarop hij de kennis aan de lezer presenteert, maar het

feit dat hij nieuwe kennis levert, is natuurlijk ook een ambitie op zich geweest. Hij benadrukt meerdere malen dat wat hij verkondigt iets nieuws is en iets bijdraagt aan de optiek, voornamelijk omdat zijn vindingen de deur openen naar nieuwe studies in de wetenschap (*Science*) (p. 131). Niets is minder waar gebleken.

De eerdere kwestie over de discretie van Newton werd al gauw ontrafeld. In deze alinea zullen we zien dat dit niet zonder reden zo soepel verliep. De verhandeling is namelijk glashelder in meerdere opzichten. In de eerste plaats gaat hij zo nauwkeurig en precies te werk dat over haast niets een misverstand kan bestaan. De begrippenlijst en de axioma's zijn natuurlijk zeer exemplarisch. Daarnaast worden de experimenten uitermate helder uitgelegd. Dit is voor een groot deel te danken aan het onderdeel *Illustration*, waarin Newton een overzichtelijke beschrijving geeft van hoe de opstelling is opgebouwd. Hij gaat hier zelfs zo ver in dat hij uitlegt welke eisen je aan een prisma moet stellen voor optimaal resultaat (p. 41, 72). Waar het allemaal te koop is, vertelt hij er nog net niet bij. In sommige opzichten lijkt de verhandeling net een praktisch handboek, waar stapsgewijs in staat hoe je iets kunt maken. Zijn nauwkeurigheid wordt ook duidelijk wanneer hij maten noteert, bijvoorbeeld van de grootte van lichtstreepjes die via een prisma op een vel papier vallen of het aantal graden van een brekingshoek. Hij maakt vooral gebruik van *inches* en de half en kwart varianten hierop (p. 29). Zoals uit het begin van de alinea blijkt: over *haast* niets laat Newton een misverstand bestaan. Er zijn daarom twee zaken die ik graag nog even benoem. Allereerst is hij niet altijd even precies met het geven van maten. Naast de halve en kwart *inches*, gebruikt Newton naar mijn idee iets te vaak het woordje 'about' vóór de maat. Hiermee wil ik zeggen dat hij niet altijd even consequent is als het gaat om de maten: wanneer hij 'about' 8 *inch* schrijft, kan het goed zijn dat hij 8 en een kwart *inch* bedoelt, terwijl hij andere keren iets zeer nauwkeurig als '4 en eenzesde *inch*' noteert. Het tweede punt is zijn vertrouwen in de observatie en zijn eigen zintuigen. De ene keer gebruikt hij een instrument om iets te meten, de andere keer maakt hij hiervoor enkel gebruik van zijn eigen zintuigen. (Op één pagina schrijft hij tot wel vier keer: 'I view'd them with my naked Eye') (p. 74). Het is onbetwistbaar dat een meetinstrument als een liniaal betrouwbaarder is dan het zicht van een persoon, zeker wanneer het iemand van rond de zestig betreft. Het is zonder meer waar dat hij veel van zijn meetresultaten zeer nauwkeurig heeft genoteerd. Echter, er is een grote kans dat het zicht van iemand van zestig niet meer zo scherp is als het ooit was. Uiteraard komt Newton in dit werk tot zeer respectabele bevindingen, maar er moet niet worden vergeten dat Newton's blind vertrouwen in zijn eigen observaties misschien wat dubieus is.

In de tweede plaats is de verhandeling naar mijn idee tot een bepaalde hoogte zeer toegankelijk en dat heeft voor een groot deel te maken met de duidelijke stijl van Newton. Hij slaat in zijn beredeneringen geen stap over, hoewel hij de lezer hiervoor soms wel laat terug bladeren naar een eerder experiment. Deze duidelijke manier van uitleggen bracht mij al gauw op de vraag voor welke doelgroep het eerste boek is geschreven. Met mijn kennis van de middelbare school over optiek kwam ik er na een pagina of honderd achter dat de moeilijkheidsgraad van de stof steeds verder was gestegen en enig begrip vanaf dat punt mijn pet te boven ging. Aan het begin van de achttiende eeuw was het aantal mensen dat 6 jaar natuurkunde les had gevolgd natuurlijk geringer dan vandaag de dag. De verhandeling zal destijds dan ook minder toegankelijk zijn geweest dan tegenwoordig. Het volgende citaat geeft wellicht een duidelijker beeld van hoe Newton het bedoeld had: 'The Demonstration Mathematicians will easily find out, and therefore I shall not trouble the Reader with it' (p. 80). De lezers hoefde wellicht geen wiskundige te zijn, maar moest zeker wel een redelijke opleiding hebben genoten.

Tot slot nog twee zaken die mij opvielen, maar die niet duidelijk met elkaar in verband kunnen worden gebracht. Ten eerste de interactie tussen Newton's bevindingen en het 'dagelijks' leven. De verhandeling is natuurlijk geheel gericht op experimenten die eenvoudig zijn te herhalen en daarmee zeer praktisch qua stijl. Aangezien niet iedereen in het begin van de achttiende eeuw

dergelijke proeven deed, is het goed dat Newton het af en toe nog net wat ‘realistischer’ maakt. Dit doet hij bijvoorbeeld door aan de hand van licht uit te leggen hoe het kan dat iemand niet scherp ziet en door een verklaring te geven voor het feit dat wij verschillende kleuren zien, over lichtstralen schrijft hij vervolgens: ‘In them there is nothing else than a certain Power and Disposition to stir up a Sensation of this or that Colour’ (p. 124, 125). Ten tweede reageert Newton enkele malen op reeds bestaande wetten binnen de optiek en op werk van collega’s. Hij laat dan zien dat zij er naast zaten en hij het juiste antwoord kan leveren, omdat hij gebruik maakt van experimenten. Hij heeft het bijvoorbeeld over ‘the Rules of Vulgar Opticks’ (p. 32) en toont aan dat de theorie van collega *Grimaldo* niet juist is (p. 34).

In de volgende vier hoofdstukken zullen zo nu en dan verbanden worden gelegd met wat er zojuist is besproken. Ook al heb ik *Opticks* beschouwd vanuit een zo neutraal mogelijke blik en de betogen van de vier auteurs zo ver mogelijk weggelaten, zijn er zaken die iedereen die zich bezighoudt met de periode rondom de Wetenschappelijke Revolutie zouden zijn opgevallen.

Floris Cohen, De herschepping van de wereld

De nauwkeurigheid van Newton wanneer hij de opstellingen bij zijn experimenten beschrijft, is terug te vinden in de manier waarop Cohen in zijn boek een verklaring geeft voor het ontstaan van de moderne natuurwetenschap. Elk stukje van de puzzel is aanwezig en wordt zorgvuldig met de rest samengevoegd tot er een mooi plaatje ontstaat. In Newton's geval is dat een gedetailleerde beschrijving van de opstellingen. Bij Cohen is het een verklaring die aan niets te wensen overlaat. Cohen begint zijn narratief in de Klassieke Oudheid. Wanneer de zeventiende eeuw aanvangt, begint het echte werk pas in de vorm van zogenaamde transformaties binnen de natuurkennis. Uiteraard is de periode tot aan de zestiende eeuw ook zeer belangrijk in Cohen's betoog. Echter, kennis hiervan is niet noodzakelijk om de plek van Newton en *Opticks* in het geheel te begrijpen. Daarom leg ik hier de focus op de transformaties waarmee Cohen zijn betoog structuur geeft. Het boek telt er in totaal zes en zij vormen in het betoog de Wetenschappelijke Revolutie. In de eerste drie vindt een transformatie plaats van elk van de drie vormen van natuurkennis die Cohen in zijn boek hanteert, achtereenvolgens de Atheense natuurfilosofie, de Alexandrijnse wiskunde en de experimentele vorm. Binnen de natuurfilosofie komt het idee van deeltjes in beweging op en formuleert Descartes voor het eerst 'natuurwetten'. De kennisstructuur van 'Alexandrië' verandert door de betrekking op de werkelijkheid en Galilei waant zich buiten de vijf vormen van natuurkunde door zich met val, worp en beweging bezig te houden. En tot slot wordt de experimentele vorm omgetoverd tot het heuse 'opsporend experiment', waarbij het uitvoeren van experimenten regelmatig gebeurt en resultaten stelselmatig worden geordend. In de vierde transformatie verschuift Huygens het zwaartepunt binnen de natuurfilosofie van zekerheid, naar waarschijnlijk. Ook probeert hij, net als Newton, op sommige punten Descartes' filosofie met Galilei's wiskunde te verenigen. Daarbij maakt Newton nog gebruik van de derde wet van Kepler om zijn ideeën over de cirkelbaan te controleren. Hij is wederom van de partij tijdens de vijfde transformatie, waarin de zogenaamde 'aether' zijn intreden doet en Newton, Boyle en Hooke op zoek gaan naar manieren om willekeur bij experimenten tegen te gaan. De zesde transformatie is het werk van enkel één man, u raadt het al, het is Newton. Hij komt ondermeer tot de universele gravitatiewet en weet al zijn ontdekkingen in een zeer nauwkeurig wiskundig bewijs aan de wereld te tonen. Daarmee vormt hij de natuurkennis om in een heuse natuurwetenschap en sluit hij de revolutie af. Ook al was dit een zeer korte behandeling van een deel van het betoog dat Cohen in zijn boek houdt, het werd al gauw duidelijk dat hij voor Newton een mooi plekje heeft gereserveerd. In de volgende alinea zal ik die plek nader bestuderen.

Hoewel Newton in het boek wordt beschouwd als hekkensluiter van de Wetenschappelijke Revolutie, ligt de nadruk voor het algemene proces van die revolutie op de transformaties. Newton sloot het weliswaar af, maar eerdere veranderingen binnen de natuurkennis zijn daarvoor wel essentieel geweest. Voor die laatste stap waren de vierde en vijfde van direct belang. Cohen wijst er uitdrukkelijk op dat niemand anders in staat was tot die afsluitende transformatie te komen: 'Kortom, om de wet van de universele gravitatie te vinden, was het niet genoeg om Hooke te zijn, of om Huygens te zijn, alleen een door elkaar gestampde Hookgens kon op zoiets uitkomen.' (p. 251). Newton nam deel aan transformatie vier en vijf en daarom was hij in staat de zesde uit te voeren. Nummer vier en vijf zijn daarom van groot belang in het proces van de revolutie. Ook de eerste drie transformaties hebben hun steentje hieraan bijgedragen. Zij zijn mede verantwoordelijk geweest voor de metamorfosen die de wiskunde, natuurfilosofie en de experimentele vorm hebben ondergaan tijdens de Wetenschappelijke Revolutie. De opvolgende transformaties hebben hier zonder meer profijt van gehad. Nu het duidelijk is dat Newton in laten we zeggen 1687, enkel in staat was tot krachtwerking te komen door het hele voorbereidingsproces, waarin hij zelf ook voor

een deel participeerde, is het tijd om de andere kant van de zaak te belichten. Het is namelijk beslist duidelijk dat Newton in het betoog de kers op de taart vormt. Cohen vindt er zeker geen doekjes om dat dit niet alleen het resultaat is van het werk van voorgangers, maar vooral ook van zijn eigen bekwaamheid. Zijn competentie is op vier verschillende manieren terug te vinden. Allereerst was hij uitmuntend geschoold in de wiskunde. Dit maakte dat hij, in tegenstelling tot collega Hooke, wel het juiste wiskundige bewijs kon leveren voor zijn aanname over krachtwerking (p. 245). Daarnaast noemt Cohen hem een ‘consequenter denker’ (p. 242). Dit is terug te zien in zijn strikte redeneringen in *Opticks*, waar ik in het vorige hoofdstuk op wees. Een volgend punt is het feit dat Newton geen genoegen nam met waarschijnlijke kennis. Huygens had er voor gepleit dat de natuurkennis niet in staat was zekerheden af te leveren, enkel waarschijnlijkheden (p. 232). Newton accepteerde dit niet en beweerde wel over het vermogen te beschikken de waarheid te achterhalen, zoals ook uit de eerste zin van *Opticks* blijkt. Het vierde punt vloeit hier uit voort. Het sleutelwoord voor het uitbannen van willekeur en om tot juiste uitspraken te komen, was ‘nauwkeurigheid’ of ‘precisie’. In het boek wordt veel aandacht besteed aan Newton’s nauwkeurigheid (p. 258), voornamelijk wanneer *Opticks* wordt besproken. Daar zal ik later dieper op ingaan. Nu de lof voor Newton in het algemeen en ook de relativisering van zijn positie in de context van de transformaties helder zijn, wordt het tijd dat we ons gaan beperken tot de rol van *Opticks* zelf.

Zoals de positie van Newton in verband staat met die van zijn collega’s, is de plek van *Opticks* niet los te zien van de bespreking van enerzijds verhandelingen van diezelfde collega’s en anderzijds de *Principia*, het werk dat hij zeventien jaar eerder publiceerde. Zo wordt er over Galilei’s *Discorsi* en *Dialogo* ook tamelijk wat uitgelegd, net als over Descartes’ *Principia* en een aantal werken van Kepler. Deze besprekingen zorgen in het boek voor een duidelijke chronologie en behoren tot de standaardstof. Echter, de bijdrage van *Opticks* is wat mij betreft van een andere categorie. In totaal worden daar bijna vier volle pagina’s aan besteed. De relevantie wordt duidelijk gemaakt aan de hand van twee thema’s. Ten eerste droeg het werk bij aan de inperking van willekeur in het natuuronderzoek. De experimenten waar de verhandeling vol van staat, waren uitermate geschikt om precisie-metingen bij uit te voeren. Volgens Cohen hoopte Newton erop dat zijn nauwkeurigheid nieuwe, algemene standaarden zouden opleveren (p. 254). Ten tweede was *Opticks* bij uitstek een pleidooi voor zekere kennis. De zeer scherpe metingen zouden tot resultaten leiden die als waar konden worden beschouwd, niet als waarschijnlijk. Dit punt lijkt me erg cruciaal omdat er in het boek bovendien een vergelijking wordt getrokken met Huygens. Hij was met eenzelfde onderzoek bezig als Newton, maar bleef zonder antwoorden zitten omdat zijn ideeën over zekere kennis hem niet tot uiterste precisie en dus niet tot waarheden voerden (p. 258). Een vraag die ik mijzelf vervolgens stel, is in welk opzicht *Opticks* volgens Cohen verschilde van de *Principia*. Het is belangrijk hierbij te bedenken dat de inhoud van *Opticks* in 1672 al bijna compleet was, zo’n vijftien jaar voordat de *Principia* werd gepubliceerd. Overigens was transformatie vijf toen nog niet afgelopen en was deze dus niet essentieel voor de totstandkoming van *Opticks*. De thema’s die ik zojuist heb behandeld, waren destijds reeds door Newton doordacht. Bovendien zijn ze ook terug te vinden in de *Principia*. Wanneer Cohen het over de *Principia* heeft, schrijft hij dat Newton op zoek was naar zekerheid in tegenstelling tot Huygens, Boyle en Hooke. Tevens wijst hij op Newton’s afkeer van willekeur: ‘Newton hechtte aan die vastigheid, dus aan een zo sterk mogelijk uitsluiten van willekeur’ (p. 252). Onmiskenbaar bracht hij zijn ideeën in de praktijk, immers leverde hij wiskundige bewijzen van formaat, zeker gezien de periode waarin Newton zijn onderzoek uitvoerde. De toegevoegde waarde van *Opticks* in het bijzonder zit hem dus niet in de precisie en het streven naar absolute zekerheid. Dat kunstje had hij in de *Principia* immers ook al vertoond. Het verschil zit hem in de manier waarop Newton tot een bewijs komt. In de *Principia* is dat voornamelijk via de wiskundige weg, maar hij maakt ook gebruik van experimenten. In *Opticks* ligt de nadruk bij uitstek op experimenten. Wat de verhandeling in het boek van Cohen

onderscheidt, is dat het met zeer weinig wiskunde, enkel wat goniometrie, methodologisch gezien eenzelfde resultaat bereikt als de *Principia*: het toont wederom dé manier om willekeur uit te sluiten van onderzoek.

Samenvattend kan er worden gesteld dat de zes transformaties de kern vormen van Cohen's betoog over de ontwikkeling van de Wetenschappelijke Revolutie. De aanname dat de zesde transformatie enkel tot stand kon komen doordat de hoofdfiguur, Newton, aan de twee voorgaande had deelgenomen, bevestigt de onderlinge afhankelijkheid van de transformaties. Dit relativeert het aandeel van Newton in een zekere mate. Newton's begaafdheid is van cruciaal belang gebleken, waardoor hem in het boek meer lof toekomt dan menig collega. Eigenschappen als nauwkeurigheid en het streven naar zekere kennis zijn ook in *Opticks* terug te vinden. Niettemin is vooral de toepassing hiervan op het experiment in combinatie met de relatief zeer geringe rol voor de wiskunde de manier waarop *Opticks* zich in Cohen's betoog weet te onderscheiden. Cohen's verklaringsmodel voor het verloop van de Wetenschappelijke Revolutie heeft voor een groot deel zijn interpretatie van het werk van Newton bepaald. Meerdere malen komt het thema 'paal en perk stellen aan willekeur in onderzoek' aan de orde (p. 207, 220, 237). De discussies hierover leverden zo nu en dan een opsomming van richtlijnen op, maar geen van alle bleek uitkomst te bieden aan problemen als onregelmatige uitslagen van experimentele toetsen en het dubbelzinnige karakter van sommige natuurfilosofieën. Newton daarentegen bood een uitkomst. Cohen schrijft in de afsluitende alinea over het werk van Newton: 'Dit waren de natuurwetenschappelijke richtlijnen die [...] besloten lagen in Newtons twee boeken.' (p. 260). Daarbij vormt de samenvoeging van de drie vormen van natuurkennis tevens een belangrijk onderdeel van de overgang naar de moderne natuurwetenschap. Huygens probeerde Descartes' natuurfilosofie en Galilei's wiskundige natuurkennis al te verenigen. Een poging die op één onderdeel, de valversnelling, na geslaagd was. Newton wist Huygens poging te voltooien in de *Principia*. Met zijn precisie, correcte bewijzen voor tot dusver onopgeloste zaken én combinatie van drie vormen van natuurkennis, krijgt Newton in het boek onmiskenbaar de rol van 'verlosser' toebedeeld. Hiermee wordt ook *Opticks*, linksom of rechtsom, naar een hoger niveau getild. Ondanks dit 'meeliften' op de roem van de auteur zelf, moet niet worden vergeten dat er in *Opticks* nieuwe ontdekkingen worden getoond en dat Cohen dit ook zeker ter sprake brengt. De nadruk ligt echter voornamelijk op de manier waarop Newton met de stof omgaat, met uiterste precisie en het idee dat absolute zekerheid tot de mogelijkheden behoort. Dit wordt gepresenteerd als zijn handelsmerk, iets dat hij zeventien jaar eerder in de *Principia* al aan het publiek toonde. In dat opzicht lijkt er niets nieuws onder de zon.

Rienk Vermij, Kleine geschiedenis van de wetenschap

Het boek van Vermij bestaat uit drie delen, waarvan alleen het eerste deel hier besproken zal worden. De titel van dit deel luidt: 'De wetenschappelijke revolutie'. Net als in het boek van Cohen is de Klassieke Oudheid het beginpunt, waarin drie stromingen worden onderscheiden, respectievelijk de Griekse filosofie, wiskunde en geneeskunde. Een opmerkelijk verschil met het vorige boek is dat Vermij deze stromingen op dit moment al onder de term 'wetenschap' schaaft. Het betoog is dan ook niet gevormd rondom het idee dat er in de Wetenschappelijke Revolutie een nieuw soort wetenschap ontstaat, maar draait om de vervanging van een wereldbeeld. Het Aristotelische wereldbeeld dat tot stand werd gebracht in Klassiek Griekenland en voornamelijk in de Middeleeuwen de dominante filosofie was, raakte in de zestiende eeuw in verval. Dit was onder andere het gevolg van maatschappelijke en wetenschappelijke ontwikkelingen die volgens Vermij kunnen worden beschouwd als onderdeel van het voorbereidingsproces voor de wetenschappelijke revolutie in de zeventiende eeuw. In het boek wordt er overigens nadrukkelijk op gewezen dat niemand destijds een idee had van wat er komen ging, laat staan dat zij er een aandeel in zouden hebben. Dat aandeel was relatief klein. Het beeld dat de maatschappij destijds had van de wereld vergelijkt Vermij met een rariteitenkabinet: 'een verzameling verbazingwekkende wonderen die weinig met elkaar te maken hadden maar met zijn allen toch op een of andere manier een weergave waren van de goddelijke orde in de schepping' (p. 64). Dan vangt in de zeventiende eeuw de Wetenschappelijke Revolutie aan, waarbij Galilei de aftrap doet. De vondsten die hij deed met natuurkundige instrumenten combineerde hij met wiskundige theorieën en bewijzen en daarmee wist hij tot ontdekkingen te komen die de grond onder Aristoteles's ideeën deden wegzakken. Dit was de opmaat naar een nieuwe wereldvisie. De hoofdfiguur die de visie complementeerde, was Descartes. Dit is in Vermij's betoog dan ook de kern van de Wetenschappelijke Revolutie: Descartes' nieuwe mechanische wereldvisie vervangt het wereldbeeld van Aristoteles. De ordening die Aristoteles in de kosmos had aangebracht, werd door Descartes van tafel geveegd en daarvoor in de plaats stelde hij een alles verklarend wereldbeeld, een 'samenvatting en synthese van bestaande kennis' (p. 81). De mechanische filosofie zorgde voor markante resultaten in het experimentele onderzoeksprogramma en voor een vereniging van filosofie en wiskunde. Tot slot wijdt Vermij een paragraaf aan Newton en zijn verdiensten voor de nieuwe wetenschap, hoewel hij eigenlijk van mening is dat de wetenschapper geen onderdeel uitmaakt van de daadwerkelijke revolutie.

De ogenschijnlijke tegenstrijdigheid in die voorlaatste paragraaf is erg opvallend. Zo krijgt Newton aan de ene kant de titel 'de grootste wetenschapper uit de tijd van de wetenschappelijke revolutie' (p. 93), aan de andere kant stelt Vermij dat 'rond 1670 de revolutionaire fase in de wetenschap voorbij was' (p. 94). De vraag die hierbij gesteld moet worden, is natuurlijk hoe het kan dat de grootste wetenschapper geen deel uitmaakt van de Wetenschappelijke Revolutie. Dat heeft alles te maken met de manier waarop die revolutie door Vermij wordt geïnterpreteerd. Het is weliswaar zo dat Newton in en na de zeventiende eeuw tot fantastische ontdekkingen kwam en daarmee een behoorlijke reputatie genoot. Vermij ziet Descartes echter als centraal figuur, die zeker veertig jaar eerder grote veranderingen in de wetenschap had doorgevoerd. Daarmee gaf Descartes vorm aan nieuwe grondslagen waar collega-wetenschappers mee aan de slag konden. In dat opzicht wordt Newton's rol in het betoog neergezet als een soort naschok van de revolutie. Vermij miskent hiermee niet de bijdrage die Newton aan de moderne natuurwetenschap heeft gehad. Daarentegen is hij van mening dat die bijdrage van een ander kaliber is dan die van Descartes. In het betoog wordt na Descartes de lijn getrokken tussen enerzijds de revolutie en anderzijds het nieuwe wereldbeeld en een omgevormde natuurwetenschap. De laatstgenoemde was echter nog niet verfijnd genoeg om alle onduidelijkheid een halt toe te roepen. Newton is de figuur die, voornamelijk met zijn

Principia, de natuurwetenschap van een zeker karakter voorziet. Het eens zo revolutionaire wereldbeeld van Descartes sneuvelde hierdoor. Newton's verhouding met Descartes in het boek kent dus twee kanten. Enerzijds bouwde Newton voort op het werk van Descartes: hij maakte bijvoorbeeld gebruik van het concept natuurwetten en diens ideeën over de uniformiteit van de wereld (p. 100). Anderzijds maakte Newton met zijn juiste bewijzen voor juiste theorieën de natuurwetenschap ook daadwerkelijk kloppend, iets wat Descartes niet was gelukt. De afhankelijkheid werkt dus twee kanten op. Descartes leverde Newton een paar handige instrumenten. Een combinatie met Newton's kundigheid leverde de wereld werkelijk juiste theorieën en een correct natuurwetenschappelijk model. Passages in het boek over Newton's verdiensten voor de wetenschap worden regelmatig gevolgd door het aandeel dat Descartes hierin had en daarmee relativeert Vermij keer op keer direct zijn eerdere lof voor Newton. Het moge duidelijk zijn dat ondanks de titel 'grootste wetenschapper', hij in termen van de Wetenschappelijke Revolutie in dit betoog op de tweede plek eindigt.

Heel verwonderlijk is het dan ook niet dat er geen bespreking van *Opticks* in het boek is opgenomen. Sterker nog, het werk wordt niet eens genoemd. We gaan nu kijken naar eventuele verbanden die te leggen zijn met bepaalde stromingen en naar de aandacht die er wordt besteed aan de *Principia*. Het doel hiervan is een verklaring te vinden voor de afwezigheid van de verhandeling in het betoog. Ten eerste kan *Opticks* voor een groot deel in de traditie van de experimentele methode worden geplaatst. Vermij wijst erop dat dit cartesische onderzoeksprogramma in Engeland behoorlijk in trek was. De Royal Society was zeer gericht op die experimenten en stelde er ook eisen aan. Zij erkende resultaten pas wanneer die tot stand waren gekomen in het bijzijn van een getuige en de omstandigheden waaronder de proef plaatsvond, deze dienden ook nauwkeurig te worden vermeld. Met deze regels had de Royal Society volgens Vermij 'een belangrijke bijdrage geleverd aan de definiëring van het moderne wetenschappelijk onderzoek' (p. 90). Zoals we weten, was Newton verbonden aan de Royal Society. De manier waarop deze vereniging van geleerden eisen stelde aan de experimentele methode kan invloed hebben gehad op Newton's werkwijze. Ten tweede worden er in het boek een aantal kenmerken genoemd van de *Principia* en het wetenschappelijke model dat Newton hierin hanteert. Dit is mogelijk ook van toepassing op *Opticks*. De *Principia* leverde volgens Vermij niet alleen theorieën, maar heuse wetenschappelijke feiten (p. 98). Daarin verschilde het van Descartes' werk. Ook wijst Vermij erop dat Newton van mening was dat de natuurkunde zich niet bezig moest houden met hypothesen, maar de taak had 'om langs wiskundige weg wetten af te leiden uit de verschijnselen' (p. 99). Het waren vooral deze twee punten die de basis vormden van het best mogelijke model om in natuurwetenschappelijk onderzoek uit te voeren. Newton gaf dit door aan zijn collega-wetenschappers (p. 100). Als ik me niet vergis, gaan beide punten ook op voor *Opticks*. De laatste overigens wel in mindere mate, aangezien de rol van wiskunde in *Opticks* relatief klein is vergeleken met die in de *Principia*. Daarentegen ziet Newton in de inleiding van *Opticks* al af van het gebruik van hypothesen. Zijn benadering is alleen meer gericht op het gebruiken van experimenten en het logisch redeneren. *Opticks* past dus wel degelijk binnen het betoog van Vermij, maar dat betekent niet direct dat het ook van toegevoegde waarde zou zijn.

Om te kunnen verklaren waarom Vermij een bespreking van *Opticks* ongeschikt voor zijn betoog acht, werpen we nog even een blik op wat de revolutie precies inhield en de positie van Newton daarin. Het idee over de vervanging van het wereldbeeld en de methode van onderzoek ligt ten grondslagen aan Vermij's interpretatie van de Wetenschappelijke Revolutie. Descartes was de voornaamste exponent van deze revolutie. Dat de theorieën waartoe hij kwam met behulp van zijn methode niet steekhoudend waren, wordt in dat opzicht niet belangrijk bevonden. De correcte theorieën, of wetenschappelijke feiten, die Newton zo'n veertig jaar later weet te formuleren, worden dan ook niet als revolutionair beschouwd. Het zijn weliswaar fantastische verdiensten, maar

zoals Vermij het omschrijft: ‘De basisbeginselen van de nieuwe natuurbeschouwing waren toen aanvaard’ (p. 93). Newton bouwde hierop voort. De wet van universele gravitatie kwam nog enigszins in de buurt van de revolutionaire golven halverwege de zeventiende eeuw en daarom wordt de *Principia* in het betoog behandeld. Dit werk leverde immers kloppende theorieën en een nieuw, correct wereldbeeld. *Opticks* daarentegen is in dit opzicht van een hele andere categorie. De methodologische verdiensten van de *Principia*, zoals het op een wiskundige manier tot feitelijke kennis komen, zijn voor een groot deel te vergelijken met die van *Opticks*. In Vermij’s argumentatie voor zijn interpretatie van de Wetenschappelijke Revolutie is de toegevoegde waarde van *Opticks* dan ook afwezig of verwaarloosbaar. Het wordt hier duidelijk hoe de vork in de steel zit. Vermij’s interpretatie van de revolutie heeft direct gevolgen voor de rol van *Opticks* in het betoog. Dit toont namelijk aan dat de basis van deze discussie haar oorsprong vindt in een heel andere discussie, namelijk hoe de vier auteurs de Wetenschappelijke Revolutie interpreteren. Ik heb er mijn twijfels over of de lof die Vermij heeft voor Newton’s verdiensten wel de juiste plek in het gehele betoog heeft gekregen. Descartes had weliswaar nieuwe beginselen gecreëerd, maar hij wordt in het boek ook behoorlijk geprezen voor zijn nieuwe mechanische wereldbeeld. Vermij stelt echter een paar keer dat de wet van universele gravitatie uit Newton’s *Principia* ‘een heel nieuw wereldbeeld’ (p. 97) was en dus niet enkel een oplossing voor natuurkundige problemen. Het verschil zit hem dan nog in die beginselen van Descartes en het vernieuwende karakter van het nieuwe wereldbeeld. Het lijkt me dat beide wetenschappers op dit laatste punt hoog scoren. Daarmee valt het onderscheid terug te brengen op Descartes’ beginselen. Misschien had Vermij, om de eer van Newton hoog te houden, een Wetenschappelijke Revolutie 1.0 in het leven kunnen roepen. Maar dat zou wellicht een te revolutionaire stap zijn geweest in deze discussie. Op wat kleine aanpassingen na, had hij het met zijn huidige betoog volgens mij best kunnen verdedigen.

John Henry, *The Scientific Revolution and the Origins of Modern Science*

Wat mij betreft is dit het meest eigenaardige boek van het viertal dat we bespreken. Het is enerzijds het kortste betoog, anderzijds is de blik van de auteur zeer breed. Niet zo zeer qua tijd, het begint tijdens de Renaissance en eindigt grofweg bij Newton, maar vooral qua interactie tussen aan de ene kant wetenschap en aan de andere kant allerlei facetten in de samenleving en ‘pseudo-wetenschappen’ als de alchemie. Gezien de dikte van het boek is het niet verwonderlijk dat Henry in zijn bespreking van dergelijke verbanden veelal aan de oppervlakte blijft. Toch weet hij wat verrassende conclusies uit te trekken, daarover later meer. Het is Henry in het boek overigens meer te doen om het geven van een uiteenzetting van het historische debat over wat de Wetenschappelijke Revolutie precies inhield, dan om het het geven van een, al dan niet originele, verklaring voor de totstandkoming van die revolutie. Uiteraard geeft hij deze uiteindelijk wel en die zal ik nu bespreken. Het meest opvallende aan Henry’s verklaring is de rol die hij toebedeeld aan de invloed van de alchemie en de religie in de totstandkoming van de moderne natuurwetenschap. Zoals hiervoor kort genoemd, vangt het boek in de Renaissance aan. Dit is het punt waar de revolutie van start ging vanuit de reeds bestaande natuurkennis, door Henry verenigt in de definitie ‘natural philosophy’. De Renaissance speelt een belangrijke rol in het verlies van gezag van het Aristotelische wereldbeeld. Immers werden Klassieke filosofieën herontdekt en er ontstond ‘concurrentie’ (p. 14). De magie en de wiskunde werden steeds belangrijker, naast de reeds bestaande *natural philosophy*. Dit gold ook voor de experimentele methode die mede door het toedoen van Bacon ontstaan was en zich voornamelijk richtte op het controleren van beweringen door middel van experimenten. Bacon krijgt hiervoor veel lof in het boek. Net als Descartes die volgens Henry een flinke scheut rationalisme door de wetenschappelijke mengelmoes heeft gegooid door de introductie van zijn mechanische wereldbeeld (p. 72). Volgens Henry kwamen deze twee buitengewone bijdragen samen in het werk van Newton. Hij zorgde uiteindelijk voor de officiële mathematisering van het wereldbeeld en de natuurwetenschap. Waar Galilei en Descartes op het juiste spoor zaten, maar de zaak niet rond kregen, wist Newton correcte oplossingen te leveren voor wiskundige en natuurkundige problemen (p. 31).

Newton’s bijdrage is volgens Henry tweeledig. Aan de ene kant is er het wetenschappelijke model voor een correcte benadering van de natuurkunde dat hij de wereld presenteerde. Dit model is zowel in de *Principia*, als in *Opticks* terug te vinden. In de *Principia* is de basis ervan het wiskundig bewijzen van fenomenen die binnen het vak van de natuurkunde vallen. In *Opticks* benadert hij deze verschijnselen vanuit de experimentele methode (p. 112). Zoals eerder genoemd, Newton ‘represented the triumphant synthesis of both methods’ (p. 113). Henry legt alleen niet duidelijk uit hoe Newton’s nieuwe model er volgens hem uit ziet. Daarnaast zijn er natuurlijk Newton’s bevindingen die volgens Henry in zo verre verschilde met die van Galilei en Descartes dat de zijne juist waren en die van de laatste twee niet. Hij relativeert het ook door te stellen dat enerzijds Newton de eer krijgt omdat hij wiskundig juist zat en anderzijds Galilei en Descartes in de wetenschap de weg vrij hadden gemaakt voor de wiskundige benadering (p. 31). Newton’s wiskundige bevindingen werden dus voornamelijk geaccepteerd, doordat de wiskundige benadering geaccepteerd was. Henry lijkt er heel erg voor te waken Newton te veel veren op de hoed te steken. Er wordt in de conclusie wederom benadrukt dat ‘he saw further only by standing on the shoulder of giants’ (p. 113). Daarbij waren het vooral de wiskundige theorieën van Leibniz en de broers Bernoulli waarmee achttiende eeuwse wiskundige aan het werk konden. Een ander opvallend aspect van Henry’s betoog is de grote rol die hij weglegt voor de alchemie en de religie. Newton’s ideeën over zwaartekracht staan volgens Henry in de traditie van de alchemie. Hij was bij lange na niet de enige natuurfilosoof die zich met dat soort zaken bezig hield (p. 65). Uit het hoofdstuk ‘Religion

and Science' blijkt ook dat er heel wat verbanden te leggen zijn tussen Newton's theorieën en zijn geloof in God. De scheidslijn tussen echte wetenschap en religie lijkt soms wat vaag. Henry's keuze voor deze thema's lijken het 'amateuristische' karakter van de natuurwetenschappen destijds te benadrukken. Dit staat wellicht in verband met zijn waarschuwing aan het begin van het boek voor zogenaamde 'whiggish history': geschiedschrijving waarbij enkel aandacht wordt geschonken aan zaken die achteraf relevant blijken voor het heden. Eventuele schijnontdekkingen of minder relevante stromingen worden dan niet belicht. Vanuit dit idee toont Henry dus zowel Newton's wetenschappelijke, als eigenaardige trekken.

Enkele keren wordt er vanuit dit licht ook naar *Opticks* gekeken. Er wordt een voorbeeld aangehaald over het kleurenspectrum waaraan Newton twee kleuren heeft toegevoegd, zodat het er in totaal zeven waren en de kleuren in harmonie zouden zijn met de kosmos (p. 64). Dit staat niet in het deel van *Opticks* dat ik in een eerder hoofdstuk heb besproken, maar het geeft wel aan dat ook *Opticks* niet enkel een geheel is van experimenten en logische beredeneringen. Dit geldt ook voor het laatste deel van het boek, '*Queries*', waarin volgens Henry alchemische opvatting zijn te ontdekken (p. 65). Verder wordt de verhandeling in de conclusie nog een keer genoemd: 'His *Principia Mathematica* was widely regarded as the very model of the new mathematical way of doing physics, while the *Opticks* was taken as a model of experimentalism.' (p. 112). Newton's model voor de empirische methode is dus terug te vinden in *Opticks*. In het Henry's boek wordt niet bijzonder duidelijk hoe dat model er dan uit ziet, naast dat het een model is waarmee de natuurkunde kan worden benaderd. Henry stelt dat het een erg belangrijke verhandeling is geweest, maar de uitleg daarbij is zeer gebrekkig. De relatie tussen het werk en de religie en alchemie daarentegen wordt helder toegelicht met voorbeelden. Ik geloof niet dat dit 'magische' karakter van *Opticks* iets te maken heeft met de voorbeeldfunctie waar Henry het over heeft. Ondanks de matige argumentatie van zijn stelling, ga ik er vanuit dat Henry van mening is dat het boek, samen met de *Principia*, toch als een model diende in de wetenschap. De experimentele methode en Bacon's hoog gewaardeerde werk op dat vlak worden uitgebreid besproken. *Opticks* wordt hier gepresenteerd als een nieuw model binnen die experimentele methode. Hoewel een precieze beschrijving van dat model uit blijft, is de betekenis van de traditie waarin het model staat glashelder. Het belang van *Opticks* in Henry's betoog moet vanuit die context worden bekeken.

Het is in dat opzicht verstandig de plaats van de empirische methode in Henry's betoog te verduidelijken. In de eerste helft van de zeventiende eeuw kwam zowel de wiskunde, als de empirie op. Beide vormen van natuurfilosofie werden door verschillende wetenschappers tot een bepaalde hoogte verbeterd en verfijnd. Newton is de figuur die hun toepassing binnen de natuurkunde weet te voltooien, door er correcte bewijzen mee te leveren en door een geschikt model te introduceren waarmee natuurkundige problemen kunnen worden benaderd. Het samenbrengen van wiskunde en natuurkunde door de *Principia* kan worden gezien als het hoogtepunt van de zeventiende eeuwse wetenschap. *Opticks* vervult eenzelfde rol voor de natuurkunde en de empirie. Aangezien Henry het regelmatig heeft over een mathematisering van het wereldbeeld en de natuurkunde en omdat de *Principia* over het algemeen meer aandacht krijgt in het boek, denk ik dat vooral de officiële verbinding tussen wis- en natuurkunde de grootste uitkomst was van de revolutie. Dat betekent dat *Opticks* op de tweede plaats eindigt. De paar magische tintjes doen hier geen afbreuk aan. De invloed van Newton's alchemie en religie komt in het boek weliswaar ter sprake, maar is niet dominant gezien de manier waarop het zich verhoudt tot de bespreking van de magische trekjes van andere wetenschappers. Henry's brede perspectief op Newton, waarbij ook minder revolutionaire zaken aan bod komen zoals de religieuze ondertoon in *Opticks*, maakt zijn verklaring eigenlijk een stuk aannemelijker. Hij prijst Newton niet alleen, hij belicht de zaak ook van een andere kant. De *whiggish history* heeft hij, zoals beloofd, effectief vermeden en dat houdt het gehele betoog goed in balans.

James McClellan & Harold Dorn, *Science and Technology in World History*

Het laatste boek dat zal worden besproken is dat van McClellan en Dorn. De auteurs stellen zich in dit boek ten doel het geven van een overzicht van de wereldgeschiedenis van de wetenschap, de technologie en de wisselwerking tussen beiden. In het derde deel, 'Europe and the Solar System', ligt de focus op de Europese geschiedenis. In vier hoofdstukken schetsen McClellan en Dorn de historische context van de revolutie, geven ze aan tegen wat voor problemen wetenschappers aan liepen en middels welke methoden er werd getracht tot oplossingen te komen en presenteren ze de daadwerkelijke oplossingen. Hun verklaring voor de Wetenschappelijke Revolutie begint bij Copernicus' heliocentrische wereldbeeld dat het dominante Aristotelische wereldbeeld tegenspreekt. Hiermee geeft hij volgens McClellan en Dorn de wetenschap het duwtje in de rug dat leidt tot de daadwerkelijke revolutie. In het begin ligt de nadruk voornamelijk op Galilei's bijdrage aan de wiskunde en zijn gebruik van het experiment. Galilei's verhandelingen over beweging blijken later in de revolutie de basis van verder onderzoek te vormen. De experimentele methode kon op twee manieren worden toegepast, enerzijds kon het theorieën controleren, anderzijds kon het door werkelijk te experimenteren worden gebruikt om op zoek te gaan naar natuurverschijnselen. De methode wakkerde een nieuwsgierigheid aan in mensen. De verschillende methoden losten het probleem over hoe de kosmos was ingedeeld niet op. Galilei had weliswaar het correcte wiskundige bewijs geleverd voor het heliocentrische wereldbeeld, maar werd sindsdien enorm beperkt in zijn onderzoek door kerkelijke instanties. Ook was het met de empirische methode natuurlijk niet eenvoudig om theorieën over planeetbanen te controleren, laat staan dat ze eruit zouden rollen tijdens het uitproberen van willekeurige proeven. Het was vervolgens Newton die korte metten wist te maken met alle Aristotelische sferen in de kosmos en het dualistische karakter ervan door de krachtwerking in te voeren. Hij maakte hiermee een einde aan de debatten over hoe de kosmos is ingedeeld (p. 259).

Het moge duidelijk zijn dat Newton in deze verklaring de hoofdrol speelt. Er wordt dan ook zo ongeveer een heel hoofdstuk aan hem gewijd, getiteld: ' "God said, 'Let Newton Be' "' (p. 249). In dit hoofdstuk wordt aan de hand van zijn biografie zijn aandeel in de revolutie verteld. Het nut van deze manier van uiteenzetten lijkt regelmatig meer te zitten in de amusementswaarde, dan dat het daadwerkelijk relevant is om de waarde van zijn verdiensten in het betoog te begrijpen (p. 261). Een goedlopend verhaal is natuurlijk altijd wenselijk, maar aan te veel overbodige informatie, zoals hoe zijn harde werklust hem een burn-out bezorgde (p. 261), zal de lezer zich eerder storen. Newton's bijdrage bestaat volgens McClellan en Dorn uit twee zaken. In de eerste plaats wist hij in zijn *Principia* allerlei bewijzen te leveren die samen een verklaring vormden voor hoe de kosmos in elkaar zit. McClellan en Dorn schrijven het volgende: 'Newton united the heavens and the earth and closed the door on now-stale cosmological debates going back to Copernicus and Aristotle' (p. 259). Er wordt in het boek op gewezen dat Newton voor zijn onderzoek in de *Principia* de vruchten heeft geplukt van het werk van andere wetenschappers, bijvoorbeeld Galilei's wiskundige benadering van beweging. In de tweede plaats is zijn werk ook voor het onderzoek van de volgende generatie wetenschappers van grote betekenis geweest. De ontdekking van krachtwerking opende hele nieuwe terreinen van onderzoek. In de *Principia* formuleert hij zelf enkele voorbeelden van zaken die vanaf dat moment onderzocht konden worden door andere wetenschappers. Ik denk dat deze laatste bijdrage hem niet tot held van de revolutie heeft gemaakt en de nadruk ligt op zijn bewijzen in de *Principia*. Verwonderlijk is het niet dat Newton in McClellan en Dorn's betoog wordt neergezet als de persoon met de oplossing voor het eeuwige debat over hoe de kosmos is vormgegeven, aangezien zij dit debat als de leidraad van de Wetenschappelijke Revolutie beschouwen.

Het aandeel van *Opticks* is in dit opzicht van weinig belang geweest. Het verklaart immers niet de werking van eb en vloed of waarom de planeten niet in een cirkel, maar in een ellips vorm bewegen. McClellan en Dorn geven dan ook aan dat het *naast* de *Principia* Newton's andere grote werk was, maar dat het verder niets van doen had met de omvorming van het wereldbeeld (p. 263). *Opticks* krijgt binnen het oeuvre van Newton dus een minder prominente plaats toebedeeld dan de *Principia*. Binnen McClellan en Dorn's interpretatie van de Wetenschappelijke Revolutie speelt *Opticks* geen rol. Het was Newton die de periode afsloot met de *Principia*. McClellan en Dorn stellen: 'The year 1693 also marks the end of the period of creative scientific work in Newton's life' (p. 261). Dat de *Opticks* niet als creatief wordt beschouwd, komt doordat het in het boek wordt gezien als een zeer uitgebreide reproductie van het eerder verschenen artikel dat ik in het tweede hoofdstuk al noemde. Mogelijk revolutionaire ideeën zouden er destijds wel uitgesprongen zijn. Ondanks de ondergeschikte positie, wijden McClellan en Dorn in hun betoog toch een aantal pagina's aan *Opticks*. Dat heeft wellicht te maken met het gegeven dat *Opticks* vanuit methodologische opzicht in de traditie van de experimentele methode staat. Deze methode heeft een belangrijke rol gespeeld in de ontwikkeling van de Wetenschappelijke Revolutie. Galilei maakte er veel gebruik van en het wordt gezien als een kenmerk van de 'new science'. De manier waarop Newton met de methode omgaat, valt in de experimenteer- of uitprobeer hoek te plaatsen. McClellan en Dorn schrijven over de 'proof by experiment' stijl: 'he presented whole collections of experiments to argue about the phenomena they revealed' (p. 263). Hij had dus op voorhand geen vaststaande theorie, maar kwam al experimenterend tot zo'n theorie. Dit was echter geen nieuwe toepassing van de experimentele methode en onderscheidt *Opticks* zich op dit vlak niet. De toegevoegde waarde van de verhandeling in McClellan en Dorn's verklaring voor de Wetenschappelijke Revolutie was dus zeer beperkt tot afwezig.

Het is een opvallende verklaring die de auteurs geven. Het debat over de ordening van de kosmos staat hierin centraal. Met Copernicus' heliocentrische theorie begon het balletje te rollen. Vanaf dit moment zou het Aristotelische wereldbeeld onderwerp van discussie zijn. Verschillende wetenschappers probeerden een nieuwe verklaring te vinden en hoewel zij hier niet in slaagden, gebruikten zij wel methoden en kwamen zij wel tot bevindingen die uiteindelijk hebben bijgedragen aan het onderzoek van Newton, de figuur die een einde maakt aan de zoektocht naar een waardige vervanger voor het Aristotelisme. Aangezien McClellan en Dorn dit als hoogtepunt van de revolutie beschouwen en tevens als voltooiing, is hierin geen plaats voor *Opticks* dat zeventien jaar later werd gepubliceerd. Bovendien zou de inhoud van de verhandeling, die ook in 1672 had kunnen worden uitgebracht, de revolutie niet naar een hoger niveau hebben getild, aangezien het deze geen totaal verklaring geeft voor het systeem van de kosmos en de gehanteerde methode binnen een reeds bestaande methode valt, namelijk de experimentele. De relatie met technologie speelt overigens een opvallend kleine rol in dit deel van het boek. Dat is zondemeer het gevolg van het gebrek aan technologische toepassingen van Newton's krachttheorie, tot in de negentiende eeuw in ieder geval. McClellan en Dorn wijzen er nog wel op dat het vooral de technologie was die in een beperkte mate invloed had op de wetenschap, maar dat het omgekeerde tot weinig vruchtbaars leidde (p. 267). Ik denk dat Newton's eisen aan de prisma zoals hij die stelt in *Opticks* prima als voorbeeld hiervan had kunnen dienen. Door de technologie was hij in staat zulke eisen te stellen aan zijn instrumenten. In dat opzicht blijkt *Opticks* wederom op het boek aan te sluiten, maar is het verband met de daadwerkelijke revolutie nog steeds ver weg.

Een analyse van het debat

Het zou natuurlijk geen echte discussie zijn wanneer enkel de standpunten van de vier auteurs zouden worden besproken zonder verdere interactie daartussen. Daarom wordt in dit hoofdstuk het daadwerkelijke debat geanalyseerd. Telkens is vanuit het grote kader, de interpretaties van de Wetenschappelijke Revoluties en de structuur hiervan, gekeken naar de rol van *Opticks* in het betoog van de auteurs. De verhandeling werd niet altijd uitgebreid besproken en in een enkele keer zelfs niet eens genoemd. In dat soort gevallen was de grote context voornamelijk van belang, omdat de methode die in *Opticks* wordt gebruikt vaak wel terug te vinden was in de interpretaties van de auteurs. Het uiteindelijke doel van de analyse is het formuleren van een verklaring voor de verschillen tussen de interpretatie's van *Opticks*. Dit betekent overigens niet dat er alleen naar de verschillen wordt gekeken. Sommige auteurs blijken namelijk behoorlijk wat gemeen te hebben.

Allereerst ga ik na of de auteurs *Opticks* als een wezenlijke toevoeging aan de Wetenschappelijke Revolutie beschouwen. Cohen zou met een volmondig 'ja' antwoorden. Volgens hem zijn in *Opticks* twee uitermate relevante zaken terug te vinden. Allereerst zijn de precisiemetingen van belang omdat hiermee willekeur in het natuuronderzoek is tegen te gaan. In Cohen's betoog wordt regelmatig aandacht besteed aan manieren waarop men probeert deze willekeur in te perken. In *Opticks* toon hij hoe dit gedaan kan worden. Daarnaast verklaard Newton in *Opticks* enkel zekere kennis te beogen. Huygens' bewering dat waarschijnlijkheid het hoogst haalbare doel was, wordt in het boek als de 'redding' van de natuurkennis beschouwd. Newton pretendeert enige tijd later tot feitelijke kennis te kunnen komen. Dit is wederom een belangrijk thema in het boek dat ook in *Opticks* is terug te vinden. In dit vertoog voor de toegevoegde waarde van *Opticks* aan de Wetenschappelijke Revolutie staat Cohen echter wel alleen. Henry en McClellan en Dorn bespreken de verhandeling, maar nergens krijgt het zo'n prominente plaats als in het boek van Cohen.

Daarentegen valt *Opticks* in de andere drie boeken wel binnen een voor de revolutie belangrijke methode te plaatsen. In de eerste plaats aandacht voor het opvallendste betoog, dat van Vermij. Hij krijgt deze titel omdat hij de verhandeling niet noemt, in tegenstelling tot de andere auteurs. Heel verwonderlijk is het overigens niet wanneer het in de context van zijn betoog wordt bekeken. De hoofdrol is weggelegd voor Descartes, dus ziet Vermij weinig reden zich uit te laten over het tweede werk van Newton. Desalniettemin zou *Opticks* in twee opzichten prima in Vermij's betoog passen. Ten eerste prijst hij Newton voor zijn bijdrage aan toekomstig onderzoek door zijn pleidooi voor zekere kennis, zoals ook in *Opticks* te zien was. Ten tweede schrijft Vermij dat de experimentele methode in Engeland, binnen de Royal Society, als vooraanstaande methode werd beschouwd. Hoewel Newton voornamelijk op zichzelf werkte, had hij wel degelijk contact met de academie. Daarmee valt het experimentele karakter van *Opticks* ook wederom in het betoog te plaatsen. Dit geldt ook voor het betoog van Henry waarin de samenvoeging van wiskunde en natuurkunde en die van het experiment en de natuurkunde centraal staan. Henry stelt *Opticks* als voorbeeld van de laatstgenoemde. Hij legt echter zwaar de nadruk op het belang van de eerste samenvoeging. Dit is wederom karakteristiek voor het volgende betoog. Ook McClellan en Dorn plaatsen *Opticks* in de experimentele traditie, maar weten de verhandeling enkel te onderscheiden van andere op experimenten gebaseerde werken door de aandacht die Newton in het boek geniet. Daarmee blijft *Opticks* veelal een voor de hand liggend voorbeeld.

Dit verschil in de rol die *Opticks* dient in de boeken is, zoals eerder genoemd, te verklaren vanuit de manier waarop de auteurs de Wetenschappelijke Revolutie interpreteren. De methoden die ze gebruiken in hun boek is natuurlijk zo gekozen dat de interpretatie het meest duidelijk wordt en wellicht ook het meest overtuigend overkomt. Daarom wil ik graag nog even kijken naar de manier

waarop de gebruikte methode is ingezet om de interpretatie te versterken. Het betoog van Cohen wordt misschien wel voornamelijk gekenmerkt door de duidelijke structuur ervan. De transformatie-structuur maakt het betoog aantrekkelijk om te lezen en vooral ook om er in mee te gaan. Bij het eindpunt, Newton, aangekomen, lijken andere interpretaties in het niets te vallen. *Opticks* vormt echter geen belangrijk onderdeel van die transformaties. Het zijn twee minder opvallende thema's, de willekeur in het natuuronderzoek en de vorm van kennis, die *Opticks* relevant maken in het betoog. Vermij daarentegen deelt de zeventiende eeuwse wetenschap op in twee delen die van elkaar worden gescheiden door de invoering van Descartes' mechanisering van het wereldbeeld. Door de vervanging van het Aristotelische wereldbeeld als middelpunt van de revolutie te stellen, blijft enkel Descartes over als hoofdfiguur. Opvallend genoeg wordt Newton ook nog geprezen voor het vervangen van Descartes' wereldbeeld. Ik vraag me af of Vermij deze tweede wisseling niet een prominentere plek had moeten geven. De eerste rekest weliswaar af met de hemelse sferen van Aristoteles, de tweede daarentegen brengt de wetenschap en de wereld iets waar men tot op heden de vruchten van kan plukken. Henry stelt het net even anders. Ook in zijn betoog draait het om een verandering van het wereldbeeld, maar krijgt niet Descartes, maar Newton de hoofdrol. Daarbij wordt het wereldbeeld niet zo zeer vervangen, maar evalueert het tot een wiskundig correcte variant. De rol van Descartes wordt, net als bij Cohen, volledig anders geïnterpreteerd dan bij Vermij. Dit geldt ook voor McClellan en Dorn. Zij stellen het vraagstuk over hoe de kosmos er uit ziet en verklaard kan worden centraal in hun betoog. Ze laten ook zien dat de totale revolutie meer om handen had en eindigen tenslotte bij Newton. Hij wordt voornamelijk neergezet als de persoon die een correct antwoord op hun centrale vraagstuk formuleerde. Zo lijkt de verklaring eerder te zijn uitgekozen bij het gehanteerde model.

In de vorige alinea heb ik laten zien hoe Newton's positie in een betoog in verband staat met het gehanteerde verklaringsschema van het desbetreffende betoog. Dit heeft vervolgens invloed op de rol van *Opticks*. Ander invloeden hierop kunnen belangrijke thema's in het boek zijn of de methodologische traditie waarbinnen de verhandeling te plaatsen valt. Voornamelijk in Cohen's interpretatie lijkt *Opticks* op deze manier een andere positie te hebben verwerft dan in de andere boeken. Dit lijkt voornamelijk het gevolg te zijn van de ruime bespreking van de verhandeling en de twee concrete bijdragen die Cohen er aan verbindt. Wanneer dit wordt vergeleken met wat de *Principia* zeventien jaar eerder aan al toonde, lijkt de rol van *Opticks* ook hier niet noodzakelijk voor het algemene betoog van de auteur. Ondanks meningsverschillen over de aard van de revolutie en welk figuur als hoofdpersoon kan worden beschouwd, lijkt een overeenstemming over de rol van *Opticks* niet geheel onrealistisch.

De wetenschap van de discussie

Het is tijd om de gedachtespinsels over de vraag of de geschiedkunde een plek binnen de wetenschap verdient weer toe te laten. Ik denk dat het heel goed is dat dit soort vragen worden gesteld. De wetenschap is gebaat bij een kritische blik, omdat dit het dwingt scherp te blijven. Het scala aan meningsverschillen in de geschiedwetenschap zet vraagtekens bij het wetenschappelijke karakter van de geschiedkunde. Het feit dat dit tot discussie leidt, betekent dat meningsverschillen door sommigen als niet-wetenschappelijk worden beschouwd. Bij mij rijst dan al gauw de vraag welke zaken onder het begrip ‘wetenschap’ moeten worden verstaan en welke niet. Het idee bestaat dat een wetenschap zich zorgen moet gaan maken over haar bestaansrecht wanneer de meeste discussies binnen het vakgebied niet tot consensus, maar tot divergentie leiden. Verdeeldheid leidt immers niet tot feitelijke kennis en dat is nu juist hetgeen waar de samenleving bij gebaat is. Het is feitelijke kennis die leidt tot bijvoorbeeld technologische innovaties. Wetenschappen waarbij theorieën hun oorsprong vinden in vaststaande feiten, zoals wanneer stof a en stof b worden gemengd vormt zich stof c, zijn in dat opzicht een stuk geliefder.

Het mag daarentegen niet vergeten worden dat er in de geschiedkunde ook feitelijke kennis voor handen is. Ik heb het natuurlijk over gegevens als jaartallen, de prijs van een brood in de zeventiende eeuw of het aantal kilogram specerijen dat een VOC schip per vaart naar Nederland importeerde. Er valt uit dergelijke feiten ook prima een ‘stof c’ te construeren. Uit de prijs van 100 gram van een bepaalde specerij, het loon van een timmerman en de kosten van zijn levensonderhoud is goed te bepalen of deze man in staat was om 100 gram specerijen te kopen, stof c. Dit is een voorbeeld van feitelijke kennis uit de geschiedwetenschap waar historici het eenvoudig over eens zullen zijn. De meningsverschillen ontstaan vervolgens pas wanneer dit feit wordt geïnterpreteerd en in breder perspectief wordt geplaatst. Stel de timmerman kon zich de 100 gram specerijen die maand niet veroorloven, maar twee maanden eerder wel. De theorieën dienen zich al aan. De prijs van hout kon bijvoorbeeld zijn gestegen, maar gezien het groeiende aantal timmerlieden kon de timmerman de prijs van een kast niet verhogen en zat hij enkele maanden krap bij kas. De plek waar historici de nadruk leggen, is in dit opzicht enorm van belang. Iemand anders kan bijvoorbeeld stellen dat de concurrentie tussen timmerlieden voornamelijk om kwaliteit draaide en niet om de prijs. Er zijn talloze manieren te vinden om de kwestie uit te leggen en de verschillende interpretaties vormen de meningsverschillen die tot discussies leiden. Dit is precies wat de geschiedkunde tot een wetenschap maakt. Er wordt geen genoegen genomen met één uitleg. Er is een bewustzijn dat de meeste zaken niet met een enkele theorie te verklaren vallen en dat is uiterst wenselijke. Historici nemen niet alles aan wat hen op een presenteer blaadje wordt voorgehouden. Stelt u zich eens voor wat er met de geschiedenisboeken zou gebeuren wanneer enkel de standaardvisie op bepaalde zaken besproken zou worden en niemand zich meer afvraagt of er ook andere verklaringen te bedenken zijn. Denkt u daarbij eens aan de macht die de groep personen zou hebben die bepaalt wat die standaardvisie precies inhoudt. De kritische geest van de historicus is bij uitstek iets dat binnen het wetenschapsbedrijf moet worden gewaarborgd. Zodra hun discussie over de concurrentie tussen timmerlieden in de zeventiende eeuw is bedaard, zou u ze zomaar een kwartier later kunnen aantreffen in een debat over het huidige functioneren van datzelfde wetenschapsbedrijf.

De kunst van het verbinden van, om even binnen het thema van het werkstuk te blijven, Kepler's wereldharmonie, maar ook zijn derde wet met de Vrede van Westfalen en dat weer te verbinden aan de opkomst van het wetenschappelijk tijdschrift en het uurwerk van Huygens om uiteindelijk de vraag proberen te beantwoorden of de *Principia* de bekroning op de revolutie was of een eerste kunstje van de moderne natuurwetenschap, behoeft een kritisch oog en een analytisch

vermogen dat niet mogelijk is als men enkel in wetmatigheden denkt. Dat historici op verschillende punten andere wegen inslaan, zorgt er alleen maar voor dat mocht er ooit een consensus over ontstaan niemand zich hoeft af te vragen of elk alternatief wel in overweging is genomen. Het wordt misschien wel eens tijd dat het wetenschapsbedrijf deze kritische geesten de waarde gaat schatten. Die veelzijdigheid is de kracht van de geschiedwetenschap. Het gebrek aan een absolute waarheid is bij uitstek dat wat mij doet geloven in deze wetenschap. Zij die verkondigen over zulke waarheden te beschikken, zijn in een interpretatief vakgebied allerminst betrouwbaar.

De Conclusie

Door eerst elk boek individueel met een kritische blik te bekijken en te bespreken werd tijdens het vergelijken al gauw duidelijk waar de overeenkomsten en verschillen tussen de interpretaties van de auteurs zaten. Over het algemeen werd *Opticks*, mits genoemd in het boek, geen bijzondere rol toebedeeld. Cohen's interpretatie vormt daar een uitzondering op, omdat twee tamelijk belangrijke thema's in zijn boek hun uitkomst ondermeer in *Opticks* vinden. Een andere plaats waar die ontknoping plaats vindt, is in de *Principia*. Daarmee lijkt *Opticks* eerder een bevestiging te zijn van wat eerder was getoond, dan dat de verhandeling op zichzelf revolutionair was. Het verschil in plekken die Newton in de boeken inneemt is wellicht opvallender. Hij krijgt in de revolutie regelmatig de hoofdrol toebedeeld voor zijn theorieën en bewijzen in de *Principia*, maar de argumentatie daarvoor van de auteurs verschilt op sommige punten. Dit is te verklaren vanuit de verschillende perspectieven die de auteur op de Wetenschappelijke Revolutie hebben. De verklaringsmodellen zijn vaak zo gekozen dat de interpretatie van de auteur het best uit de bus komt, zoals hoogstwaarschijnlijk ook de bedoeling is geweest.

Ik hoop van harte dat de bespreking van deze discussie u nader tot de geschiedkunde heeft gebracht. Zoals uit het zevende hoofdstuk blijkt, ben ik van mening dat een geloof in de wetenschap een goede zaak is. Dit blijkt bovendien prima samen te gaan met een geloof in een religie. Ondanks de verbanden die Newton zag tussen ondermeer de zeven kleuren van het spectrum, de zeven noten in een octaaf en de zeven dagen van de week, is hij in staat geweest een buitengewone bijdrage te leveren aan de moderne natuurwetenschap. Het een sluit het ander dus niet per definitie uit. Een uitspraak die ook kenmerkend is voor het historisch debat: de ene mening sluit de andere mening niet per definitie uit. Verder dan dit punt gaat de vergelijking overigens niet op. Newton wist immers wel tot een consensus te komen.

Literatuurlijst

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

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

McClellan, J. & H. Dorn, *Science and Technology in World History. An Introduction* (Baltimore 1999).

Newton, I. *Opticks, or A Treatise of the Reflections, Refractions, Inflections & Colours of Light*, Albert Einstein ed. (London 1931).

Vermij, R. *Kleine geschiedenis van de wetenschap* (Amsterdam 2013).