

Licht in Hollandse Optiek

De zeventiende eeuw was voor de Republiek der Zeven Verenigde Nederlanden niet alleen een gouden eeuw van koopvaardij en schilderkunst, maar ook een gouden eeuw van de optica. Fokko Jan Dijksterhuis laat zien hoe wetenschappers, liefhebbers en amateurs vol enthousiasme lenzen slepen, theoretiseerden en ideeën uitwisselden over het fascinerende verschijnsel licht.

In 1691 publiceerde Christiaan Huygens (1629-1695) *Traité de la Lumière*. Hierin zette hij zijn golftheorie van licht uiteen: licht bestaat uit golven die zich in de vorm van botsinkjes door de ether voortplanten. Het fundament van de theorie was het beginsel van golfvoortplanting. Huygens had dat vijftien jaar eerder ontdekt, in de zomer van 1677.¹ Het beschreef het gedrag en de eigenschappen van deze ethergolfjes op een wiskundige manier. Zo verklaarde Huygens de zichtbare eigenschappen van licht, zoals de rechtlijnigheid van lichtstralen en de wetten van weerkaatsing en breking.

Huygens' golftheorie was een revolutionair nieuwe kijk op licht. De lichtstraal, de zichtbare en haast tastbare manifestatie van licht, was sinds de oudheid de hoeksteen van de optica. Daar brak Huygens mee. In *Traité de la Lumière* is de lichtstraal een tamelijk toevallig produkt van onwaarneembare en chaotische activiteit in de ether. Een Huygense golf plant zich voort door nieuwe golven te maken waarbij elk punt de oorsprong van nieuwe golfjes is. Zo wordt de ruimte gevuld met talloze golven die naar alle kanten en dwars door elkaar heen bewegen. Het knappe van Huygens' beginsel is dat het mathematische structuur aanbrengt in die warboel van de lichtende ruimte. Op sommige plaatsen tellen golfjes op tot waarneembare

1 In *Traité de la Lumière* presenteert Huygens zijn beginsel als een verbetering van bestaande golftheorieën van licht, waarmee eigenschappen van licht beter te verklaren zijn. Voor een bondige en toegankelijke bespreking van Huygens' optica en deze kwestie zie: Fokko Jan Dijksterhuis, 'Christiaan Huygens en de mechanica van het licht' in: Machiel Keestra red., *Doorbraken in de Natuurkunde* (Amsterdam 2001) 57-80.

lichtstralen met eigenschappen die geregeerd worden door wiskundige wetten van breking en weerkaatsing.

Het historisch belang van Huygens' beginsel is onmiskenbaar. In de hedendaagse natuurkunde is *Huygens' Principle* een standaard bouwsteen voor fysisch onderzoek. De historische betekenis zit hem echter niet alleen in het briljante natuurkundige inzicht maar ook in de voor die tijd bijzondere combinatie van natuurfilosofische verklaring en wiskundige analyse. Huygens zelf lijkt zich nauwelijks bewust te zijn geweest van het baanbrekende karakter van zijn theorie. Hij presenteerde het beginsel van golfvoortplanting als een vernuftige manier om een paar lastige wiskundige puzzels op te lossen. Een paar kennissen waren vol lof, maar verder veroorzaakte *Traité de la Lumière* niet meer dan een bescheiden rimpelingetje in de Republiek der Letteren. Huygens' theorie raakte snel in de vergetelheid. Pas in de negentiende eeuw begon het beginsel van golfvoortplanting school te maken.²

De natuurkundige en wetenschapsfilosoof Ernst Mach (1838-1916) beschouwde *Traité de la Lumière* als een mijlpaal in de geschiedenis. In *Die Prinzipien der physikalischen Optik* (1921) stelde hij de vraag hoe Huygens op het geniale idee van het golfbeginsel kon zijn gekomen:

‘Voor een telg van een zeevarend volk en een bewoner van een door grachten doorsneden stad moesten waarnemingen van watergolven bijzonder voor de hand liggen. Hij zal zeker al als knaap zandkorrels in het water hebben geworpen en de wisselwerking waargenomen hebben van kleine gelijktijdige of achtereenvolgende op verschillende punten veroorzaakte golven. De wigvormige golf die ontstaat door de snelle rechtlijnige beweging van een in het water gedompeld staafje, of de boeggolf van een voldoende snel bewogen boot, konden zijn opmerkzaamheid niet ontgaan. Hij moest inzien dat wezenlijk hetzelfde verschijnsel ontstaat als men veel zandkorreltjes achtereenvolgens op opeenvolgende punten van een rechte lijn op het wateroppervlak liet vallen. In deze waarnemingen ligt wel de kiem van zijn belangrijkste ontdekkingen.’³

- 2 Het werd toen aangevuld met periodiciteit van golven zoals dat rond 1820 door Augustin Fresnel (1788-1827) uitgewerkt was. Het wordt ook wel het *Huygens-Fresnel Principle* genoemd.
- 3 ‘Unterbrechen wir für einen Augenblick die Darlegung von Huygens und fragen wir, wie er zu seinen Vorstellungen gekommen sein möchte. Dieselben stammen sichtlich der Hauptsache nach aus zwei Erfahrungs- und Gedankenkreisen. Dem Sohn eines seefahrenden Volkes und dem Bewohner einer von Kanälen durchzogenen Stadt mußten Beobachtungen über Wasserwellen besonders nahe liegen. Er

Machs 'kennispsychologische' duiding roept de vraag op waarom juist *deze* gezonde Hollandse jongen tot dit inzicht kwam. Niet zonder ironie merkte de wetenschapshistoricus Abdelhamid I. Sabra in 1967 op dat deze uitleg van de ontdekking van het golfbeginsel meer zei over de typische denkwijze van Mach dan die van Huygens.⁴ Voor hetzelfde geld had Mach de wortels van Huygens' golftheorie in de schilderkunst van de Gouden Eeuw gezocht. Er bestaan opmerkelijke verwantschappen tussen Huygens' golftheorie en het lichtgebruik van Rembrandt. Ook het natuurlijke licht van Rembrandt weerkaatst aan elk oppervlak en brengt zo de gehele ruimte tot lichten. De verleiding is groot om te denken aan een bijzondere Hollandse benadering van licht die zowel in *Traité de la Lumière* als in het 'Joodse Bruidje' tot uitdrukking komt. Als cultureel erfgoed staan ze in ieder geval op gelijke hoogte.

Psychologiserende verklaringen van historische gebeurtenissen die een beroep doen op een bijzondere volksgeest zijn niet meer van deze tijd.⁵ Desalniettemin mogen wij vaststellen dat het zeventiende-eeuwse Holland een opmerkelijk vruchtbare voedingsbodem voor de optica is geweest. Een aanzienlijk deel van de zeventiende - eeuwse vernieuwingen in het maken, gebruiken en begrijpen van licht stamt uit de Gouden Eeuw: naast Huygens' golftheorie de telescoop en de microscoop, de wet van de breking en de dioptriek van het oog, en natuurlijk een geheel nieuwe manier om licht te verbeelden in de schilderkunst. Net zoals de kleine Christiaan

wird wohl schon als Knabe Sandkörnchen ins Wasser geworfen und die Zusammenwirkung kleiner gleichzeitig oder nacheinander an verschiedenen Punkten erregter Wellen beobachtet haben. Die keilförmige Welle, welche durch rasche geradlinige Bewegung eines ins Wasser getauchten Stäbchens entsteht, oder die Bugwelle eines genügend rasch bewegten Bootes konnten seiner Aufmerksamkeit nicht entgehen. Er mußte erkennen, daß wesentlich dieselbe Erscheinung entsteht, wenn man viele Sandkörner nacheinander in die aufeinander folgenden Punkte einer Geraden auf der Wasserfläche fallen läßt. In diesen Beobachtungen liegt aber der Keim seiner wichtigsten Entdeckungen.' Ernst Mach, *Die Prinzipien der physikalischen Optik: historisch und erkenntnispsychologisch entwickelt* (Leipzig 1921) 353.

- 4 'The origin of these remarks is evidently Mach's particular line of thought, and they are in accordance with his view of scientific theories as being ultimately derived from observation and experiment.' Abdelhamid I. Sabra, *Theories of Light from Descartes to Newton* (Cambridge 1967/1981) 215.
- 5 Het is niet geheel toevallig dat Sabra's studie van zeventiende-eeuwse optica het proefschrift was waarmee hij bij Karl Popper promoveerde en een toepassing van diens kritisch rationalisme was. Popper was een uitgesproken criticus van Mach's psycho-positivistische visie op wetenschap.

niet het enige jongetje was dat langs de waterkant speelde, was hij niet de enige geleerde met een bijzondere belangstelling voor licht. Het ging daarbij niet alleen om het begrijpen van de aard en werking van licht, maar ook om het werken met licht in al zijn facetten. Huygens was in de eerste plaats geïnteresseerd in het maken en verbeteren van de telescoop. Anderen gebruikten instrumenten om een nieuwe natuur te ontdekken maar ook om wonderlijke verschijnselen te scheppen. De Hollandse bemoeienissen met licht waren divers en de geschiedenis ervan zijn verspreid over de diverse historische deeldisciplines van natuurwetenschap, wiskunde, instrumentmakerij, geneeskunde, chemie en kunst. In dit artikel wil ik een aantal van die verhalen bij elkaar brengen en in een breder cultuurhistorisch verband plaatsen. Mijn belangrijkste doel is te laten zien dat er een brede en veelzijdige belangstelling voor licht was in de Gouden Eeuw en dat de prestaties van Huygens tegen die achtergrond begrepen kunnen worden.



Schets van Huygens. Bron: Universiteitsbibliotheek Leiden, Codices Hugenorium, HUG 31, fol. 196r en fol. 197r.

Vakmanschap en reputatie

Zoals bekend kwam de eerste telescoop uit Middelburg.⁶ Eind september 1608 maakte de brillenmaker Hans Lipperhey (ca. 1570-1619) zijn opwachting in Den Haag. Hij had een aanbevelingsbrief van de Zeeuwse Staten bij zich waarin stond dat hij een instrument had gemaakt waarmee je zaken in de verte kon zien alsof ze dichtbij waren. Het instrument

6 Het meest recente overzicht van de vroegste geschiedenis van de telescoop is Huib Zuivervaat, 'The 'true inventor' of the telescope. A survey of 400 years of debate' in: Albert van Helden etc. ed., *The Origins of the Telescope* (Amsterdam 2010) 9-44. Zuivervaat houdt hierin alle documentatie en over de uitvinding van de telescoop kritisch tegen het licht en ontleed een aantal hardnekkige claims.

maakte grote indruk op graaf Maurits en de diverse Europese diplomaten die in de stad bijeen waren voor vredesonderhandelingen. Typisch voor de situatie in de Republiek had Maurits niet de directe middelen om Lipperhey te belonen, zoals Cosimo de' Medici twee jaar later deed voor Galilei.⁷ De Staten-Generaal kenden Lipperhey een aardig geldbedrag toe voor zijn instrument, maar een patent zat er voor hem niet in. Al snel bleek namelijk dat het instrument tamelijk eenvoudig te maken was voor iemand met een beetje verstand van zaken. Jacob Adriaensz (na 1571- tussen 1624 en 1631) uit Alkmaar had zich inmiddels gemeld met een vergelijkbaar instrument. Binnen korte tijd hadden handige jongens overal in Europa door hoe je met lenzen een instrument kon maken 'om verre te sien'.

De eerste telescopen stonden bekend als 'Hollandse kijkers'. Ze bestonden uit twee lenzen in een koker: een bolle lens als objectief, een holle als oculair. Dergelijke lenzen werden voor brillen gemaakt: bolle lenzen voor leesbrillen al sinds 1300; holle voor verziendheid wat recenter. Het geheim van de telescoop was echter niet de combinatie van geschikte lenzen. In de voorgaande decennia waren er al tal van instrumenten gemaakt waarin lenzen, al dan niet met spiegels, werden gecombineerd om wonderbaarlijke effecten te creëren. Om een vergroot en scherp beeld te maken waren de toenmalige lenzen echter niet zonder meer geschikt. Op basis van een nauwkeurige analyse van zestiende-eeuwse lenzen en slijptechnieken heeft Rolf Willach aangetoond dat vorm- en materiaalafwijkingen vage en vervormde beelden opleverden.⁸ De truc was om een brede rand van de lens af te dekken met een kartonnen ring om zo de storende effecten te voorkomen. Die truc beheerste Lipperhey kennelijk en daarmee kwam de uitvinding van de telescoop neer op niet veel meer dan een eenvoudig stukje karton. En een goed verstaander als Galilei had die truc zonder al te veel moeite door.⁹

Om een goede telescoop te maken waren de juiste technieken en materialen onontbeerlijk, zeker als je het instrument wilde gebruiken voor

7 Rienk Vermij, 'The telescope at the court of the stadtholder Maurits' in: *Van Helden et al. ed., Origins* 73-92.

8 Rolf Willach, 'Der lange Weg zur Erfindung des Fernrohres' in: Jürgen Hamel, Inge Keil ed., *Der Meister und die Fernrohre* (Frankfurt am Main 2007) 34-126, aldaar in het bijzonder 112-117. Een verkorte versie in het Engels is gepubliceerd in *Van Helden et al. ed., Origins* (zie noot 6) 93-114.

9 Zie de inleiding van Albert van Helden in *Galileo Galilei, Sidereus Nuncius or the Sidereal Messenger. Translated with introduction, conclusion and notes by Albert van Helden* (Chicago 1989).

geleerde zaken zoals astronomische waarnemingen. Galilei had in Padua de beschikking over het beste glas van Europa en de beste lenzenslijpers. In de Republiek was het Italiaanse glas eind zestiende eeuw geïntroduceerd en Middelburg had in 1581 de primeur gehad met de eerste glashut.¹⁰ Glasmakerij was een kennis- en kapitaalintensief bedrijf dat door de stedelijke overheden op tal van manieren gestimuleerd en ondersteund werd.¹¹ Rond 1630 had Amsterdam zich ontwikkeld tot het voornaamste centrum van glasindustrie, met diverse glashutten en tal van glasbewerkers. Brillenmaken was een bescheiden deeltak van het glasbedrijf, maar elke stad had wel één of meer brillenmakers waarvan sommigen, zoals Lipperhey, zich toelegden op kwalitatief hoogstaande produkten. Hoe Jacob Adriaensz in Alkmaar aan zijn glas kwam is niet bekend, evenmin hoe hij kans zag om zich toe te leggen op het maken van instrumenten.

Brillen mogen dan een alledaagse verschijning zijn geweest, geheel onomstreden waren ze niet. Diverse oogheekundigen vonden een bril symptoombestrijding in plaats van een remedie tegen gezichtsandoeningen. Ze boden een breed scala aan therapieën aan, waaronder het oogsnijden waaraan zij hun bijzondere status ontleenden.¹² Filosofisch waren lenzen en spiegels ook verdacht omdat ze een vertekenend beeld van de werkelijkheid gaven. Dat weerhield geleerden en liefhebbers er echter niet van de telescoop voor waarnemingen te gebruiken. In de Lage Landen waren vader en zoon David (1564-1617) en Johann (1587-1616) Fabricius in Oost-Friesland en Nicolaas Mulerius (1564-1630) in Leeuwarden er snel bij.¹³

- 10 Ferrand Hudig, *Das Glas. Mit besondere Berücksichtigung der Sammlung im Nederlandsch Museum voor Geschiedenis en Kunst in Amsterdam* (Wenen 1923) 22-28. Vergelijk ook Klaas van Berkel, 'The city of Middelburg, cradle of the telescope', in Van Helden et al. ed., *Origins* (noot 6) 45-71.
- 11 Hudig, *Glas*; Karel Davids, 'Beginning entrepreneurs and municipal governments in Holland at the time of the Dutch Republic' in: C. Lesger & L. Noordegraaf ed., *Entrepreneurs and entrepreneurship in early modern times. Merchants and industrialists within the orbit of the Dutch staple market* (Den Haag 2005) 167-183, aldaar 169.
- 12 Katrien Vanagt, 'Hoe men zich voor brillen behoeden kan' of de moeizame verspreiding van optische kennis in vroegmoderne medische kringen', Gewina. *Tijdschrift voor de Geschiedenis der Geneeskunde, Natuurwetenschappen, Wiskunde en Techniek* 29 (2006) 26-40.
- 13 Menso Folkerts, 'Der Astronom David Fabricius (1564-1617): Leben und Wirken', *Berichte zur Wissenschaftsgeschichte* 23 (2000) 127-142. Djoeke van Netten, *Nicolaus Mulerius (1564-1630). Een geleerde uit Groningen in de discussies van zijn tijd* (Groningen 2010) 55-57.

Zeker in de begintijd was een goede telescoop niet zomaar te vinden. De rector van de Latijnse School in Dordrecht Isaac Beeckman (1588-1637) moest zichzelf bekwamen in het slijpen van lenzen om instrumenten te maken.¹⁴ Daarvoor ging hij diverse malen op bezoek bij vaklieden. In zijn geboorteplaats Middelburg bij Johannes Sachariassen (1611-na 1655) en in Amsterdam bij 'een Engelsman' die een werkplaats op de Dam had. In zijn dagboek beschreef Beeckman gedetailleerd de methoden om goede lenzen te slijpen en de lessen bij vaklui. Een stuk glas werd in een slijpschaal van de juiste vorm langdurig geslepen en gepolijst, waarbij de samenstelling en de vochtigheid van het slijpzand, de houding en de druk bij het slijpen uiterst nauw luisterden. Een beetje spuug kon doorslaggevend zijn. Na verloop van tijd vond Beeckman dat hij betere lenzen maakte dan de meesters.

Mulerius in Leeuwarden had goede contacten: de Franeker hoogleraar Adriaan Metius (1571-1635).¹⁵ Metius was de broer van de Alkmaarse Jacob en had als student een gelatiniseerde achternaam aangenomen. Adriaan heeft er voor gezorgd dat de naam van zijn broer als uitvinder van de telescoop in de annalen kwam. Hij noemde hem in zijn boeken, die een grote afzet kenden, en via hem noemde ook René Descartes (1596-1650) hem als de uitvinder van de telescoop. In de jaren 1650 spanden Middelburgse notabelen zich in om hun stad terug in de annalen te krijgen en daarbij dook tamelijk onverwacht de naam van een 'echte' Middelburger op naast die van Lipperhey, die uit Wesel afkomstig was. Voor deze geschiedenis verwijs ik graag naar het grondige onderzoek van Huib Zuidervaat, maar het mag duidelijk zijn dat de uitvinding van de telescoop al in de vroege zeventiende eeuw beschouwd werd als een gebeurtenis waarmee een man (of een stad) eer kon inleggen.¹⁶

Een Fransman in de Republiek

De zojuist genoemde Descartes was in 1628 naar de Republiek gekomen om zich aan de letteren te wijden. Hij werkte aan een systematische verhandeling

14 Fokko Jan Dijksterhuis 'Labour on lenses: Isaac Beeckman's notes on lens making' in: *Van Helden et al. ed., Origins* 257-270.

15 Van Netten, *Mulerius*.

16 Zuidervaat, 'Inventor' 19-26. Zuidervaat bespreekt in detail hoe in de jaren 1650 de naam van Sacharias Jansen opdook als uitvinder van de telescoop alsmede de patriottische beweegredenen om zijn naam in de negentiende en twintigste eeuw te propageren. Het pleit voor Jansen is echter gebouwd op drijzand en zijn naam blijft verder bij voorkeur ongenoemd.

over de mechanistische aard van de natuur waarin hij licht centraal stelde. *Le Monde* of *Traité de la Lumière* was in de zomer van 1633 goeddeels klaar, maar Descartes zag af van publicatie na het nieuws over Galilei's veroordeling door de Inquisitie. In plaats daarvan schreef hij drie essays over de wiskundige vondsten die hij in de jaren 1620 had gedaan, voorafgegaan door een systematische inleiding *Discours de la Methode* (1637).¹⁷ Het eerste essay was *La Dioptrique*, waarin Descartes zijn inzichten uitwerkte over de aard en eigenschappen van lichtstralen en de werking van het oog en van lenzen. Hij had ontdekt welke wetmatigheid aan de breking van licht ten grondslag lag, een vraag waar geleerden sinds de oudheid mee geworsteld hadden.¹⁸ Met deze kennis wilde hij een ideale lens maken die anders dan een gewone bolvormige lens een perfect brandpunt had. Daarmee kon een telescoop gemaakt worden die de menselijke waarneming nog verder verbeterde dan het oorspronkelijke instrument van Jacob Metius.¹⁹ *La Dioptrique* groeide niet alleen uit tot ijkpunt van de optica in de zeventiende eeuw, maar ook als schoolvoorbeeld van de mechanistische behandeling van de natuurfilosofie, niet in de laatste plaats door alle kritiek die Descartes' uiteenzettingen opriepen.

La Dioptrique was op verschillende manieren geworteld in Hollandse grond. Isaac Beeckman was van doorslaggevende betekenis geweest voor de ontwikkeling van Descartes' denken over de aard van de natuur en de methode om kennis te verwerven.²⁰ Ze hadden elkaar in 1618 voor het eerst ontmoet en in de jaren 1630 ging Beeckman bij zijn bezoeken aan Amsterdam regelmatig bij Descartes langs die toen op de Westermarkt woonde. Descartes werd door diverse mensen bijgestaan, waarbij Constantijn Huygens (1596-1687) een hoofdrol speelde als tussenpersoon

17 Erik-Jan Bos, 'Inleiding' in: René Descartes, Bibliotheek Descartes in acht banden. Band 2 – *De wereld. De mens. Het zoeken naar de waarheid*. Erik-Jan Bos en Han van Ruler (red.) (Amsterdam 2011) 9-24. De essays waren *La Dioptrique*, *Les Mé-téores* en *La Géométrie*.

18 In plaats van een verband tussen de hoeken van inval en breking, bleek er een verband tussen de sinussen van die hoeken te bestaan. De ontdekking deed hij rond 1627 in Parijs samen met de wiskundige Claude Mydorge (1585-1647) en de lenzenslijper Jean Ferrier (?-?) bij hun werk aan ideale lenzen.

19 Neil Ribe, 'Cartesian Optics and the Mastery of Nature', *Isis* 88 (1997) 42-61.

20 Stephen Gaukroger, *Descartes. An Intellectual Biography* (Oxford 1995) 68-103; Klaas van Berkel, 'Descartes' debt to Beeckman. Inspiration, cooperation, conflict' in: Stephen Gaukroger, John Schuster and John Sutton ed., *Descartes' Natural Philosophy* (London 2000) 46-59.

die mensen en middelen bij elkaar bracht. Een leesclubje besprak de werken in wording en droeg bij aan het voorbereiden van de publicatie. Daarbij zorgde de jonge Leidse wiskundige Frans van Schooten de Jongere (1615-1660) voor de illustraties. Deze Van Schooten had ook een rol gespeeld bij de pogingen van Descartes om een ideale lens te slijpen, door een zeer nauwkeurige doorsnede van de gewenste vorm te tekenen. Huygens had daarvoor de mensen en middelen bij elkaar gebracht, maar het project strandde uiteindelijk op de teleurstellende kwaliteit van de geslepen lenzen.²¹ Het is onbekend welke lenzenslijpers ingezet werden behalve ene ‘meester Paulus’ uit Arnhem, maar kennelijk konden de Amsterdamse vaklui niet voorzien in de noodzakelijke expertise.

Descartes’ analyse van het oog was gebaseerd op dissecties die hij eerder had uitgevoerd met Vopiscus Plempius (1601-1671), een Amsterdamse oogheekundige die later in Leuven hoogleraar werd. Plempius had een manier gevonden om (koeien)ogen zo te prepareren dat de vorm behouden bleef. Daarna haalde hij de achterste vliezen voorzichtig weg zodat zichtbaar werd hoe de combinatie van pupil en lens een scherp – zij het omgekeerd – beeld op het netvlies projecteerde. Het oog werkte kortom precies als een camera obscura.²² In *La Dioptrique* gaf Descartes de resultaten van de experimenten weer om de werking van het oog uit te leggen die de basis was van zijn behandeling van de telescoop.²³ Het doel van Plempius was de behandeling van oogziekten te verbeteren. Hij koppelde het oog los van het lichaam als geheel en de bijbehorende humorenleer en vatte het op als een instrument waarvan de gebreken te verhelpen waren door de onderdelen te repareren of corrigeren. Plempius was daarbij de eerste geneesheer die de oogheekunde opbouwde met behulp van de nieuwe inzichten in de anatomie van het oog en de wiskundige theorie van beeldvorming van Johannes Kepler (1571-1630). Het tamelijk revolutionaire resultaat publiceerde hij in Amsterdam in 1632 onder de titel *Ophthalmographia*.

Het was niet geheel toevallig dat Constantijn Huygens een belangrijke

- 21 Fokko Jan Dijksterhuis, ‘Constructive Thinking: a Case for Dioptrics’ in: Lissa Roberts, Simon Schaffer, Peter Dear ed., *The Mindful Hand. Inquiry and Invention from the late Renaissance to early industrialisation* (Amsterdam 2007) 58-82.
- 22 Katrien Vanagt, *De Emancipatie van het Oog. V. F. Plempius’ Ophthalmographia en de vroegmoderne medische denkbeelden over het zien* (Enschede 2010) 130-134.
- 23 Descartes noemde Plempius niet, maar had ook niet de gewoonte om zijn inspiratiebronnen te benoemen. Zo noemde hij Kepler in een brief aan Mersenne zijn ‘eerste meester in de optica’ maar noemde zijn naam nergens in zijn publicaties.

rol speelde in Descartes' optische activiteiten. Hij had altijd al interesse voor optica gehad, zo wordt uit de autobiografie van zijn jeugd duidelijk. Hij was al jong een brildrager, wat veel mensen ten onrechte als ijdeltuiterij zagen. Van Kepler moest hij niet zoveel hebben; die vond hij veel te technisch en esoterisch. Hij gaf de voorkeur aan het werk van de Antwerpse Jezuïet Franciscus Aguilonius (1567-1617) die meer inging op cognitieve aspecten en ook kleur uitvoerig behandelde.²⁴ Maar vooral was Huygens onder de indruk van innovatieve apparaten. Als diplomaat in Londen had hij Cornelis Drebbel (1572-1633) leren kennen, een Alkmaarder en goede bekende van Jacob Adriaensz. Drebbel staat bekend als degene die de telescoop heeft getransformeerd in een microscoop. De instrumenten van Drebbel maakten diepe indruk op Huygens en hij zag de verdere ontwikkeling van de optica als een belangrijke taak.²⁵ In 1629 trachtte hij Jacob Golius (1596-1667), de Leidse wiskundige en Arabist die juist op de weg terug uit de Levant was, te bewegen zich op de studie van breking toe te leggen. Golius deed dat niet, maar kon hem in 1632 wel melden dat Willebrord Snellius (1580-1626), zijn voorganger op de leerstoel wiskunde, een jaar of tien eerder de wet van de breking had ontdekt.²⁶ Golius introduceerde Huygens ook bij Descartes, die precies datgene deed wat Huygens interesseerde: optische instrumenten bedenken en doordenken.

Europese Hollanders

Begin jaren 1660 reisde de Franse polyhistor Balthasar de Monconys (1611-1665) door de Lage Landen. Hij had grote belangstelling voor optische zaken en kon in de Republiek zijn hart ophalen. Het reisverslag van Monconys geeft een goed beeld van de activiteiten van de jonge heren die hij bezocht en van het internationale netwerk waarbinnen zij opereerden. In

24 Constantijn Huygens, *De jeugd van Constantijn Huygens door hemzelf beschreven. Uit het Latijn vertaald, toegelicht en met aantekeningen voorzien door Dr. A.H. Kan* (Rotterdam 1971) 99-107.

25 Huygens, *Jeugd* 114-123. Drebbel was afkomstig uit Alkmaar en goed bekend met de geleerden uit die plaats. Hij had zijn heil echter aan de hoven van Europa gezocht – eerst in Londen, toen in Praag en toen weer in Londen – om zijn opzienbarende vondsten en ideeën uit te dragen.

26 Klaus Hentschel, 'Das Brechungsgesetz in der Fassung von Snellius. Rekonstruktion seines Entdeckungspfadens und eine Übersetzung seines lateinischen Manuskriptes sowie ergänzender Dokumente', *Archive for History of Exact Sciences* 55 (2001) 297-344.

Amsterdam sprak hij de latere burgemeester Johannes Hudde (1628-1704) en de jonge geleerde Isaac Vossius (1618-1689), in Den Haag de zonen van Constantijn Huygens, Constantijn jr. (1628-1697) en Christiaan (1629-1695). Zij zetten het werk van de vorige generatie voort en sloegen nieuwe richtingen in. Zoals de ‘Hollandse tranen’: kleine druppels van glas die met geen moker stuk te slaan waren maar tot gruis vervielen wanneer het puntje afgebroken werd.²⁷ Het was het type curieuze verschijnsel dat amateurs uiterst fascinerend vonden. Monconys tekende ideeën en ervaringen van Hudde en Vossius op en droeg zo bij aan de uitwisseling van kennis binnen een pan-Europees netwerk van amateurs.

De Huygensen hadden zich in de jaren 1650 gestort op het slijpen van lenzen en bouwen van telescopen. Via de contacten van hun vader verzaamden ze de eerste kennis over materialen, technieken en constructies. Een goede bekende in Antwerpen bezat bijvoorbeeld een telescoop van de Augsburgse instrumentmaker Johan Wiesel (1583-1662), op dat moment de meest geavanceerde.²⁸ Het duurde niet lang of de broers bouwden hun eerste telescopen. Later memoreerden ze hoe ze ’s nachts op het huis aan het Plein bij heldere, en dus koude, hemel samen naar de sterren zaten te kijken. In 1655 werd een maan bij Saturnus en de ring om de planeet ontdekt. Christiaan richtte zich ondertussen op de wiskundige theorie van lenzen waarbij hij *La Dioptrique* wilde verbeteren.²⁹ Hij had de wiskunde van Descartes bestudeerd bij Frans van Schooten in Leiden. Descartes had de brekingswet alleen gebruikt om de vorm van de ideale lens te bepalen; Huygens analyseerde de eigenschappen van de gewone bolvormige lenzen die in telescopen werden gebruikt. In 1652 werkte hij een exacte theorie

27 Laurel Brodsley, Charles Frank and John Steeds, ‘Prince Rupert’s Drops’, *Notes and Records of the Royal Society of London* 41 (1986) 1-26. Dit is een informatieve bespreking van het verschijnsel, zij het met een bias voor de Engelse situatie.

28 Christiaan Huygens, *Oeuvres Complètes de Christiaan Huygens* 22 Vols. (Den Haag 1888-1950), Vol. 1, 190-191, 308-309; Vol. 22, 61. Over de telescopen van Wiesel zie Inge Keil, *Augustanus Opticus. Johann Wiesel (1583-1662) und 200 Jahre optisches Handwerk in Augsburg* (Berlijn 2000). Een achterneef in Amsterdam, Ruslandhandelaar Daniel de Vogelaer (1599-1669) bezat ondertussen brieven van Wiesel met nadere uitleg over de bijzondere constructie van zijn instrumenten die Christiaan Huygens met veel interesse bestudeerde.

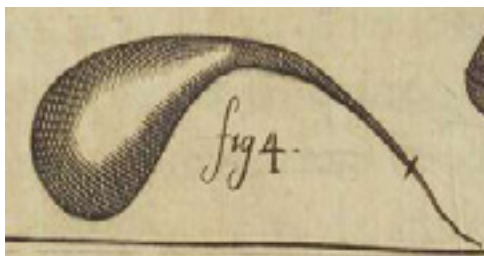
29 ‘Nu ben ik echter helemaal in de dioptrica ...’ schreef Christiaan Huygens op 29 oktober 1652 aan Frans van Schooten. *Huygens, Oeuvres* Vol. 1, 215. Fokko Jan Dijksterhuis, *Lenses and Waves. Christiaan Huygens and the Mathematical Science of Optics in the Seventeenth Century* (Dordrecht 2004) 11-24.

van de eigenschappen van lenzen en hun configuraties af, die hij echter nooit zou publiceren.

Ook Johannes Hudde had Descartes bestudeerd bij Van Schooten. Ook hij werkte aan een theorie van lenzen, maar zijn benadering was anders. Huygens koppelde meetkundige strengheid aan

praktische vragen over telescopen; Hudde was pragmatisch en – tamelijk bijzonder voor die tijd – gericht op het conceptualiseren van ‘tastbare’ eigenschappen.³⁰ Aan Monconys vertelde Hudde over minuscule lensjes waarmee een nieuw type microscoop te maken was die nog dieper tot de geheimen van de natuur zou kunnen doordringen.³¹ Met dat type microscoop behaalde Jan van Swammerdam (1637-1680) eind jaren 1660 de eerste successen op het gebied van de anatomie van insecten, het decennium daarop gevolgd door het werk aan micro-organismen door Antoni van Leeuwenhoek (1632-1723).³²

Isaac Vossius hield zich eveneens bezig met theoretische vragen, zij het van een heel andere soort dan Huygens en Hudde en bovendien op een manier die hen niet erg aanstond. Vossius had in 1658 in een commentaar op een klassieke tekst een beschouwing gegeven over het verschijnsel van atmosferische breking. In 1662 werkte hij die uit tot een uiteenzetting over de aard van licht en kleur, *De Lucis natura et proprietate*.³³ Vossius bestreed cartesiaanse opvattingen en had daarbij een bijzondere troef in handen: de manuscripten van Snellius. Die sloten aan bij zijn fenomenologische bena-



Een 'Hollandse traan'. Bron: Universiteitsbibliotheek Leiden, Codices Hugenoriorum, HUG 31, fol. 196r en fol. 197r.

30 Rienk Vermij en Eisso Atzema, "Specilla circularia": an unknown work by Johannes Hudde' *Studia Leibnitiana* 27 (1995) 104-121; Dijksterhuis, *Lenses and Waves* (noot 29), 70-72.

31 Hudde stond in rechtstreeks contact met Baruch de Spinoza (1632-1677), die zich in Voorburg als lenzenslijper had gevestigd, maar daar is Monconys niet op bezoek geweest.

32 Eric Jorink, *Het 'Boeck der Natuere'. Nederlandse geleerden en de wonderen van Gods schepping 1575-1715* (Leiden 2006), 219-247.

33 Fokko Jan Dijksterhuis, 'A View from the Mountaintop. The Development of Isaac Vossius' Optics, 1658-1666', in: Eric Jorink and Dirk van Miert ed., *Between Scholarship and Science. The Wonderful World of Isaac Vossius (1618-1689)* (Leiden 2011).

dering en toonden bovendien aan dat Descartes niet de eerste ontdekker van de brekingswet was geweest.³⁴ Vossius kreeg scherpe kritiek, onder meer uit de kringen rond Hudde. Christiaan Huygens vond de ophef over Vossius vooral vermakelijk en het boekje zelf verder niet erg de moeite waard. Ook hij was kritisch over Descartes, maar accepteerde wel diens mechanistische uitgangspunten. Er zijn wel meer verschillen tussen de Hollandse amateurs. Zo moest Huygens niet heel veel hebben van allerhande curiositeiten. Bij voorkeur knutselde hij met lenzen, zowel fysiek als intellectueel, hoewel ook dat wel eens uit de hand liep. In 1659 bouwde hij een lantaarn om 'spannende' beelden te projecteren. Een omgekeerde camera obscura waarin licht via een holle spiegel door een beschilderd glasplaatje geleid wordt en met een lens scherp geprojecteerd op een wand. Vader Constantijn was razend enthousiast over de toverlantaarn, maar Christiaan moest niet zoveel hebben van zulke trukendozen.³⁵

Voortplanting en navolging

Christiaan Huygens vertrok in 1666 naar Parijs om daar de nieuw opgerichte *Académie Royale des Sciences* voor te zitten. In de jaren 1670 worstelde hij enigszins met zijn gezondheid en keerde een aantal keren terug naar huis. Daar maakte hij kennis met de nieuwe microscopen en ontdekkingen van Van Leeuwenhoek. Huygens liet er direct zijn vakmanschap en wiskundig vernuft op los en deed zelfs een paar interessante waarnemingen.³⁶ In 1678 was hij weer terug op de Académie in Parijs en stal hij de show met de nieuwe instrumenten. Een jaar later presenteerde Huygens de Académie een andere vondst die hij thuis in Den Haag had gedaan: een nieuwe theorie van licht. De kern vormde het beginsel van golfvoortplanting waarmee hij in de zomer van 1677 een paar lastige optische puzzels had opgelost.³⁷ De vraag naar de aard van licht en de verklaring van wetten van de optica was hem een paar jaar eerder gaan bezighouden toen hij een plan maakte voor een verhandeling over lenzen en telescopen. In de zomer van 1679 had hij

34 Door de contacten tussen Golius en Descartes bestond het vermoeden van plagiaat, maar dat is ongegrond.

35 W.A. Wagenaar, 'The True Inventor of the Magic Lantern : Kircher, Walgenstein or Huygens?' *Janus* 66 (1979) 193-207.

36 Marian Fournier, 'Huygens' designs for a simple microscope', *Annals of Science* 46 (1989) 575-596.

37 Dijksterhuis, *Lenses and Waves* 161-172.

een vrijwel complete verhandeling over de voortplanting, weerkaatsing en breking van licht klaar, maar die liet hij nog meer dan tien jaar liggen. Hij publiceerde *Traité de la Lumière* uiteindelijk in 1690, zonder de wiskundige theorie van lenzen die nog altijd tussen zijn papieren zat. De theorie van licht had Huygens in de tussentijd terzijde gelegd om zich, wat betreft de optica, weer te storten op zijn oude belangstelling voor het maken en analyseren van lenzen.

Met zijn positie aan de *Académie* was Christiaan Huygens ontegenzeggelijk de meest vooraanstaande geleerde van zijn tijd. Het is daarom des te verrassender dat hij niet of nauwelijks school heeft gemaakt. Hij had een handjevol protégés maar veel naam mag zijn beschermwerk niet hebben. De instrumentmaker Nicolaas Hartsoeker (1656-1725), die hij in 1678 naar Parijs bracht, liet hij min of meer vallen en moest op eigen kracht een geleerde carrière opbouwen.³⁸ Huygens was een tamelijk solistisch man die vooral zijn eigen interesses volgde en zich beperkte tot een kleine kring patriciërs. Hij kon dat doen vanuit de comfortabele positie van zijn familie; hij begaf zich zijn hele leven onder de vleugels van zijn vader. Diens rol als bemiddelaar en stimulator nam hij niet over. Daarvoor moeten we eerder bij Hudde zijn, die een actieve rol speelde in het stimuleren van bijvoorbeeld microscooponderzoek en allerlei dwarse denkers onder zijn hoede nam. Hudde opereerde echter grotendeels op de achtergrond en zijn betrokkenheid is meestal alleen indirect aan te wijzen. De erfenis van Hudde was een kring van liefhebbers die net zo informeel was als in zijn hoogtijdagen.³⁹ Dat tekent de situatie in Holland, waar geen academie was zoals in Parijs of London.

In de amateur kringen van de late zeventiende eeuw is ook een inhoudelijke verschuiving te zien. Die wordt mooi geïllustreerd door Walther Ehrenfried von Tschirnhaus (1651-1708), een edelman uit Silezië die in Leiden gestudeerd had en een hechte band met een groep in Amsterdam had. Voortbouwend op ideeën van Huygens ontwikkelde hij begin jaren 1680 een wiskundige theorie van brandspiegels. Terug in Silezië werkte

38 Michiel Wielema, 'Nicolaas Hartsoeker (1656-1725). Van mechanisme naar vitalisme', *Gewina* 15 (1992) 243-261.

39 Rienk Vermij, 'The formation of the Newtonian philosophy: the case of the Amsterdam mathematical amateurs', *British journal for the history of science* 36 (2003) 183-200. Rienk Vermij, 'De Nederlandse vriendenkring van E.W. von Tschirnhaus', *Tijdschrift voor de geschiedenis der geneeskunde, natuurwetenschappen, wiskunde en techniek* 11 (1988) 153-178.

hij aan de verbetering van brandspiegels en bouwde gigantische ovens om brandlenzen te maken. Met de immense temperaturen die deze produceerden onderzocht hij de chemische eigenschappen van allerlei materialen.⁴⁰ De Amsterdamse amateurs vonden dit allemaal razend interessant. Zij verzamelden en verspreidden zijn instrumenten, vertaalden en publiceerden zijn boeken. De verschuiving van wiskunde naar chemie die ongemerkt plaatsvond is tekenend voor de ontwikkelingen in de achttiende eeuw die verder buiten het bestek van dit artikel vallen.

Lichtbeelden

Voor de achttiende eeuw wil ik één uitzondering maken. Rond 1710 deden de Amsterdamse polymaat Lambert ten Kate (1674-1731) en de Haagse schilder Hendrik van Limborch (1681-1759) uitvoerig studie van de eigenschappen van het mengen van kleuren. Zij trachtten wiskundige regels te ontwikkelen voor het verloop van licht naar donker in geschilderde kleuren. Hoewel ze uiteindelijk geen eenduidige oplossing vonden, deden ze een aantal originele en inventieve experimenten met de waarneming van gradaties van licht.⁴¹ Met dit onderzoek pasten ze in de ontwikkeling in de laat-zeventiende-eeuwse schilderkunst waarin meer en meer gezocht werd naar rationele onderbouwing van beeldende kunst. Naast kleuren onderzochten Ten Kate en Van Limborch ook nauwgezet de verhoudingen van menselijke lichamen.⁴²

Het is niet helemaal toevallig dat Ten Kate en Van Limborch zich richtten op het onderzoek van *coloritto* (harmonie van kleuren) want op dat gebied was er een erkend gebrek aan theorievorming. In *disegno* lag dat anders; daar was al vanaf de Renaissance een krachtige mathematische traditie op het gebied van de perspectiefleer met eveneens bijdragen vanuit de Lage Landen. Tussen *Van de Deursichtighe* (in 1605 het 'Derde Stuck der Wiskonstighe Ghedachtenissen') van Simon Stevin (1548-1620) en *Essai de Per-*

40 Klaus Schillinger, 'Herstellung und Anwendung von Brennsiegeln und Brennlinen durch Ehrenfried Walther von Tschirnhaus', in: Peter Plassmeyer en Sabine Siebel, *Ehrenfried Walther von Tschirnhaus (1651-1708). Experimente mit dem Sonnefeuer* (Dresden, 2001) 43-54.

41 Fokko Jan Dijksterhuis, 'Will the Eye be the Sole Judge?' 'Science' and 'Art' in the Optical Inquiries of Lambert ten Kate and Hendrik van Limborch around 1710', *Nederlands Kunsthistorisch Jaarboek* (in voorbereiding).

42 Hessel Miedema, *Denkbeeldig schoon. Lambert ten Kates opvattingen over beeldende kunst* (Leiden 2006).

spective (1711) van Willem Jacob 's Gravesande (1688-1742) waren talloze publicaties over perspectiefleer verschenen, variërend van het platenboek van Johan Vredeman de Vries (ca. 1526-ca. 1616) tot vertalingen van Abraham Bosses' (1602-1676) bewerkingen van de theorie van Girard Desargues (1591-1661). Daarbij was al vanaf de confrontatie tussen Vredeman de Vries en de Stevin-leerling Samuel Marolois (ca. 1572 - in ieder geval voor het jaar 1627) een

spanning merkbaar tussen strenge voorschriften van wiskundigen en de beeldende praktijken van kunstenaars.

Schilders en tekenaars hadden veel kennis van de eigenschappen en werking van licht en de manieren om die uit te beelden. De Hollandse meesters gaven een geheel nieuwe wending aan het picturale gebruik van natuurlijk licht, waarbij met name Rembrandt geroemd werd om de manier waarop hij de ruimte en de voorstelling met licht op het doek vorm gaf.⁴³ Daarbij ging het aan de ene kant over de manier waarop licht zich in de ruimte uitbreidde, heen en weer kaatste tussen voorwerpen, van tint veranderde op zijn weg naar de toeschouwer, enzovoort. Aan de andere kant ging het om een grondige kennis van pigmenten, bindmiddelen en media, en het mengen en aanbrengen van verf. Probleem is dat kunstenaars daar relatief weinig over opschreven, zeker niet waar het ging over de fysische of chemische inzichten die zij daarbij ontwikkelden. Het grootste deel van die kennis moeten wij dus reconstrueren uit hun doeken, en dat geldt met



Schets van Huygens over de werking van het licht. Bron: Universiteitsbibliotheek Leiden, Codices Hugueniorum, HUG 31, fol. 196r en fol. 197r.

43 Margriet van Eikema Hommes en Ernst van de Wetering, 'Licht en kleur bij Caravaggio en Rembrandt, door de ogen van hun tijdgenoten' in: Duncan Bull ed., *Rembrandt Caravaggio* (Zwolle 2006) 164-179.

44 Thijs Weststeijn, *The Visible World. Samuel van Hoogstraten's art theory and the legitimization of painting in the Dutch Golden Age* (Amsterdam 2008).

name voor Rembrandt.

Een tip van de sluier wordt opgelicht in kunsttheoretische beschouwingen, zoals *Het Schilder-Boeck* (1604) van Karel van Mander (1548-1606) en *De Zichtbaere Werelt* (1678) van Rembrandts leerling Samuel van Hoogstraten (1627-1678).⁴⁴ Dergelijke boeken waren in de eerste plaats bedoeld als inleiding om de kwaliteit van schilderijen te leren beoordelen en bestreken het hele spectrum van vorm, kleur en compositie tot iconografie en narratief. Hier en daar maken dergelijke boeken duidelijk dat beeldend kunstenaars vragen over de aard en eigenschappen van licht op een geheel eigen manier benaderden, zoals Hoogstratens uitleg van de intensiteit van licht. Tegelijkertijd is duidelijk dat één en ander niet volledig losstond van de ontwikkelingen in de instrumentmakerij, wiskunde en filosofie. Zo stelde Dirk Bosboom (1641-1707) in zijn *Perspectiva of Doorzicht-Kunde* (1703) uitdrukkelijk dat hij zich baseerde op de beginselen van René Descartes. Daaruit sprak de (classistische) geest van zijn tijd maar of dat daadwerkelijk van nut was voor de ‘werk-stellige oeffening’ valt te bezien.

Hollands Licht

Dat er verbanden waren tussen de beeldende kunst en de wetenschap is niet verwonderlijk. Dergelijke categoriën zijn niet van die tijd en in de interesses van liefhebbers en beschermheren waren ze niet te onderscheiden. In verzamelingen stonden naturalia en artificialia broederlijk naast elkaar en voor kennis van de wereld waren kunstwerken een even waardevolle bron als de natuur.⁴⁵ Op zijn reis door de Lage Landen bezocht Monconys naast geleerde patriciërs ook kunstenaars zoals Vermeer.⁴⁶ Lastiger uit te maken is of er sprake is van wederzijdse wisselwerking en welke vorm die aannam. Er is zeker sprake van parallellen, zoals bijvoorbeeld in de nadruk op naturalisme van alledag.⁴⁷ Maar maakten nieuwe ideeën over de aard

45 Horst Bredekamp, *Antikensehnsucht und Maschinenglauben: Die Geschichte der Kunstkammer und die Zukunft der Kunstgeschichte* (Berlin 2000).

46 Philip Steadman, *Vermeer's Camera. Uncovering the truth behind the masterpieces* (Oxford 2001).

47 Svetlana Alpers, *The Art of Describing. Dutch Art in the Seventeenth Century* (Chicago 1983).

48 Fokko Jan Dijksterhuis, ‘Huygens und das Licht des 17. Jahrhunderts’ in: Carolin Bohlmann, Thomas Fink en Philipp Weiss ed., *Lichtgefüge des 17. Jahrhunderts. Rembrandt und Vermeer – Spinoza und Leibniz* (München 2008).

van de natuur een verschil voor de verbeelding ervan en omgekeerd? In het hoofd van Christiaan Huygens lijken kunst en wetenschap gescheiden compartimenten te zijn gebleven. Hij kende het werk van Rembrandt uitstekend – zijn vader was een belangrijk pleitbezorger – en heeft er als jongeman zelfs een keer één nageschilderd.⁴⁸ Huygens heeft echter nooit een parallel getrokken tussen zijn golftheorie en de lichtende ruimte van Rembrandt.

Hoe verleidelijk ook, wij zullen ons niet laten verleiden tot een Machiaanse epistemologie. Voor een historisch begrip van het beginsel van golfvoortplanting zijn noch Hollandse kanalen noch Hollandse meesters nodig. Het volgt tamelijk eenvoudig uit Huygens' mathematische strengheid en zijn fysische overtuigingen die ook kenmerkend zijn voor zijn analyse van de slinger en de botsing.⁴⁹ Belangrijker is de vraag waarom hij zich *überhaupt* ging bezighouden met de vraag naar de aard van licht. Die was niet erg relevant voor zijn primaire interesse in de optica, de analyse van lenzen en configuraties, maar greep hem toen hij in 1672 tegen de puzzel van de vreemde lichtbreking in IJslands kristal aanliep. Toen hij die vijf jaar later had opgelost besteedde hij verder niet veel aandacht meer aan de theorie van licht.

Huygens' bijzondere belangstelling voor licht en instrumenten sloot uitstekend aan bij de geleerde cultuur van de Republiek. Er was de hele Gouden Eeuw een wijdvertakt netwerk van liefhebbers en handwerkslieden die artefacten, ervaringen en ideeën uitwisselden. In de achttiende eeuw zouden de informele kringen van amateurs zich geleidelijk ontwikkelen tot formele genootschappen waarbinnen de bijzondere belangstelling voor optica voortduurde.⁵⁰ Deze geleerde netwerken schiepen een materiële en intellectuele markt voor optica in al haar verschijningsvormen, waarbinnen ook nieuwe, specialistische ideeën en instrumenten tot stand konden komen. Uniek voor Holland was de belangstelling voor licht niet, overal in Europa vond je bekwame handwerkslieden en vorsende geleerden op dit gebied. Ook instrumenten, waarnemingen en theorieën sloten heel wel aan

49 Mach wees ook op Huygens' bijzondere inzichten in de aard en eigenschappen van de beweging en botsing van elastische lichamen. Mach, *Prinzipien* (noot 3), 355-356. Huygens' onderzoekingen van bewegingen zijn uitvoerig onderzocht door Joella Yoder, *Unrolling Time. Christiaan Huygens and the mathematization of nature* (Cambridge 1988).

50 Huib Zuidervart, 'Reflecting 'Popular Culture'. The Introduction, Diffusion and Construction of the Reflecting Telescope in the Netherlands', *Annals of Science* 61 (2004) 407-452.

bij wat de Republiek der Letteren elders voortbracht. Alleen de microscopie van Hudde, Swammerdam en Leeuwenhoek springt er uit, door de combinatie van een nieuw instrument met een specifiek onderzoeksprogramma en een wereldbeeld waarin ook ondergeschikte schepsels een sleutel tot de schepping vormen. Dat is qua uniciteit vergelijkbaar met het natuurlijke licht in de schilderkunst. Verder was het vooral de concentratie van mensen en middelen die de Republiek tot zo'n verrassend vruchtbare voedingsbodem maakten voor vernieuwingen in de optica. Zoals het buitennissige idee dat licht zou bestaan uit onwaarneembare golfjes in de ether.