

Hudde en zijn gesmolten microscooplenzjes

TIEMEN COCQUYT, MARVIN BOLT & MICHAEL KOREY*

ABSTRACT

Hudde and his flameworked microscope lenses

In this article, the role of Johannes Hudde as material instigator of the blossoming microscopic culture in the late seventeenth-century Netherlands is examined. The simple ball lens microscopes that Hudde developed in the late 1650s saw widespread adoption, yet surprisingly little is known about their origin. After reflecting on the contemporary literature on Hudde's lenses, their optical properties are discussed and compared with those of thin, ground lenses. Next, an account is given of a reconstruction experiment, performed in the Corning Museum of Glass (NY), where the manufacturing processes for both Hudde's flameworked lenses and for common ground lenses were put to test. It is explained how this gave insight in the unique advantages of Hudde's lens making innovation. Taking this further, the significance of glass melting techniques for the broader historiography of the microscope and its lens production is evaluated. Finally, it is argued how shifting demands in the c. 1700 microscope market meant that Hudde's, otherwise very successful, lenses were gradually abandoned.

Keywords: Single lens microscope; Hudde; optical reconstructions

De Amsterdamse regent en latere burgemeester Johannes Hudde (1628–1704) leverde de zeventiende-eeuwse microscopie een significante bijdrage. Zijn enkelvoudige microscoopjes met een bolvormig lenzje, gemaakt uit een aan het uiteinde van een naald gesmolten druppeltje glas, leidden tot beroering in de Nederlandse microscopie van de jaren 1660. Huddes bollenzjes – gesmolten en dus niet geslepen, zoals tot die tijd gebruikelijk was – zetten menig microscopist uit de hoogtijdagen van de Nederlandse kleinkijkerij bij het begin van hun carrière op het beslissende spoor. Blijkens een getuigenis van collega-microscopist Johannes Swammerdam waren het de lenzjes van Hudde die Antoni van Leeuwenhoek aan het microscoperen zetten.¹

* Tiemen Cocquyt, Rijksmuseum Boerhaave, Leiden. E-mail: tiemencocquyt@rijksmuseumboerhaave.nl; Marvin Bolt, Corning Museum of Glass, Corning (NY). Email: BoltMP@cmog.org; Michael Korey, Staatliche Kunstsammlungen Dresden, Mathematisch-Physikalischer Salon, Dresden. Email: michael.korey@skd.museum.

¹ J. van Zuylen, 'On the microscopes of Antoni van Leeuwenhoek', *Janus* 68 (1981) 159–198, m.n. 162, 166; Zie ook: Huib Zuidervaart & Douglas Anderson, 'Antony van Leeuwenhoek's microscopes and other scientific instruments: new information from the Delft archives', *Annals of Science* 73:3 (2016) 257–288, m.n. 260–262.

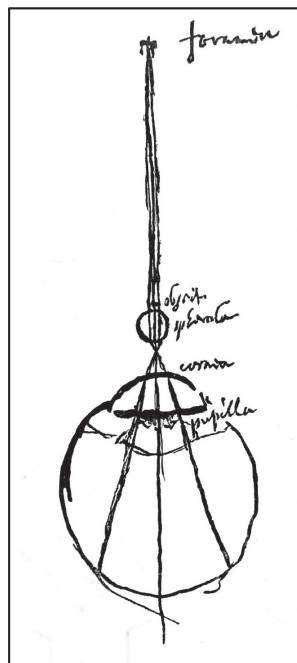


Fig. 1: Hudde-lensje in de aantekeningen van Christiaan Huygens (1678).

Swammerdam kende Huddes lensjes uit eerste hand, en maakte er zelf ook uitvoerig gebruik van.² In 1669 liet hij zich prijzend ontvallen:

[...] dat onder alle soorten van vergroot glaasen, geene gevonden werden, dewelke de vergroot glaasen met een glas overtreffen. Welcke kunstgreep, naademaal wy de selve deur gunst, van den Grooten ende Onvergelijkelijken Wiskunstenaar de Heer Johannes Hudden, Raad ende Oudscheepen der stad Amsterdam besitten, soo agten wy ons ook verbonden, de genoemden Heer daar openbaar voor te roemen.³

Baruch de Spinoza, die zich waarschijnlijk vanaf 1661 met lenzslippen inliet, correspondeerde enige jaren later met Hudde over de optica, en maakte waarschijnlijk ook gebruik van Huddes expertise en lenzen.⁴ Ook Christiaan Huygens kende Huddes methode, blijkens de gedetailleerde beschrijving die hij gaf van de vervaardigingswijze.⁵ Huddes bolvormige lensjes figureren ook in Huygens' dioptrische aantekeningen (zie fig. 1). Nicolaas Hartsoeker, tot slot, ontwikkelde in de laatste decennia van de zeventiende eeuw een eigen

2 Johannes Swammerdam, *Bybel der Natuure*, vol. 1 (Leyden 1737) 377. Zie ook: H.L. Houtzager, 'Johannes Hudde en zijn vergrotende glazen bolletjes', *Scientiarum Historia* 31:2 (2005) 155–163 en Eric Jorink, 'Beyond the lines of Apelles. Swammerdam and the Representation of Insect Anatomy', *Yearbook for History of Art – Nederlands Kunsthistorisch Jaarboek* 61 (2011) 148–183, m.n. 155.

3 Johannes Swammerdam, *Historia insectorum generalis, ofte algemeene verhandeling van de bloedeloose dierkens* (Amsterdam, 1669) 81.

4 Fokko Jan Dijksterhuis, *Lenses and Waves. Christiaan Huygens and the Mathematical Science of Optics in the Seventeenth Century* (Dordrecht 2005) 71–72; Zuidervaart & Anderson, 'Leeuwenhoek's microscopes' (n. 1) 262.

5 Christiaan Huygens, *Oeuvres Complètes*. 13. *Dioptrique* (Den Haag 1916) 521.

werkwijze met bollensjes, maar gaf in 1703 duidelijk te kennen dat hij de inspiratie initieel bij Hudde had gehaald.⁶

Het microscopisch onderzoek in het Nederland van de tweede helft van de zeventiende eeuw ontspruit dus voor een belangrijk deel uit de lensjes van Hudde. Deze vaststelling is opmerkelijk, aangezien verdere details over de oorsprong van deze lensjes vrij schaars zijn. De optische invloed van de latere Amsterdamse burgemeester lijkt – ironisch genoeg – juist te zijn ondergesneeuwd door de microscopische successen van zijn navolgers. Dit leidt tot verschillende vragen. Waar, en binnen welke technologische context, moeten we het ontstaan van deze succesvolle lensjes zoeken? Hoe verhielden Huddes lensjes en de praktijk van hun vervaardiging, zich tot de gangbare lensproductie van de zeventiende eeuw? Waarin ligt de essentie van Huddes ‘uitvinding’, ofwel waarin onderscheidden de lensjes zich? Kwamen ze voort uit bredere praktisch- of theoretisch-optische ontwikkelingen in het midden van de zeventiende eeuw, of ligt hun oorsprong juist daarbuiten?

Dat Huddes ‘gesmolten’ lensjes niet altijd in een gunstig daglicht stonden, moge blijken uit Van Leeuwenhoeks latere uitlatingen, opgetekend door de gebroeders Von Uffenbach tijdens een bezoek aan Delft in 1711:

Toen vroegen we de heer Leeuwenhoek of hij al zijn lensjes sleep, en er geen blies? Hij ontkende dit, maar toonde een grote minachting voor geblazen lenzen. Hij benadrukte hoe dun zijn microscoopjes zijn, vergeleken met andere, en hoe dicht de plaatjes waartussen de lens zit geklemd op elkaar zaten, zodanig dat er geen bollensje tussen past. Al zijn lenzen zijn daarentegen geslepen, en convex aan beide zijden.⁷

Schijnbaar had Van Leeuwenhoek het in 1711 met Huddes lensjes wel gezien. Zijn eigen lensjes waren véél dunner, schein hij op. Dit is opmerkelijk, gezien Swammerdams lovende woorden over de bollensjes, eerder. Waar kwam deze ‘grote minachting’ voor Huddes product op latere leeftijd dan vandaan? En presteerden dunne – geslepen – lensjes werkelijk zoveel beter?

Bolle lenzen

Louter optisch beschouwd maakt het niet veel uit hoe dik een lens is. De lichtbreking in een lens, en dus de vergrotende werking ervan, wordt in eerste instantie bepaald door de *kromming van de oppervlakken*. Een bolvormig oppervlak aan de voor- en achterzijde van een lens leidt tot een fikse breking van het licht en dus tot een hoge vergroting. Een zwakke bolling maakt de breking flauwer en de vergrotende werking minder sterk. De afstand tussen de oppervlakken – de dikte van de lens – treedt in de optische formules pas secundair op, als het ware als correctieterm.

6 Nicolaas Hartsoeker, ‘Extrait critique des lettres de M. Leeuwenhoek’, in: idem, *Cours de physique, [...] et d’un extrait critique des lettres de M. Leeuwenhoek* (Den Haag 1730) 44–45. Zie ook: Zuidervaart & Anderson, ‘Leeuwenhoek’s microscopes’ (n. 1) 263.

7 Zacharias Conrad von Uffenbach, *Merkwürdige Reisen durch Niedersachsen, Holland und Engeland*, vol 3 (Ulm 1753) 349–360, m.n. 359: ‘Als wir Herrn Leeuwenhoek ferner fragten, ob er denn alle seine Gläser schlieffe und keine bliese verneinte er solches, und bezeigte eine grosse Verachtung gegen die geblasene Gläser. Er wiese uns, wie dünn seine Microscopia gegen andern wären, und wie nahe die laminae, zwischen welchen das Glas ist, beysammen wären, so daß kein sphärisch Glas dazwischen seyn konnte, sondern alle seine Gläser wären auf beyden Seiten convex geschliffen’.

Zijn voor het vergrotend vermogen met name de oppervlakken relevant, andere vormkenmerken gaan wel meespelen wanneer we proberen de lichtbreking in de lens optimaal te laten plaatsvinden. Dit is van belang om een zo scherp mogelijk beeld te verkrijgen. Maar dan betreden we het terrein van de sferische aberratie: zelfs een perfect gevormd bolvormig oppervlak kan een inkomende lichtbundel niet precies tot in één enkel brandpunt samenbrengen. Houden we rekening met die sferische aberratie dan wordt de behandeling wiskundig een stuk ingewikkelder, en het resultaat hangt nu samen met de specifieke toepassing van de lens. Een sterkere lenskromming maakt de breking groter, maar maakt ook dat de breking meer gaat 'uitwaaieren'. Het heeft tot gevolg dat lichtstralen die aan de rand van de lens worden gebroken, dichtbij tot focus komen dan stralen die door het midden van de lens gaan. Hoe sterker de kromming, hoe meer uitgesproken dit verschijnsel wordt. De kunst van het sferisch optimaliseren van een lens betekent dan de optische werking zo gunstig mogelijk over beide sferische oppervlakken verdelen, zodat de uitwaaiering – de sferische aberratie – minimaal blijft. Dit is waar werkjes als Huddes *Specilla circularia* (1656) over gingen. Bij voorwerpen dichtbij de lens pakt de sferische aberratie overigens anders uit dan bij voorwerpen veraf. Daarom kan een berekening voor een microscoop lens andere resultaten opleveren dan voor een telescoop lens. Voor elke toepassing geldt een eigen 'ideale' lensvorm, variërend van eenvoudige platbolle lenzen tot ingewikkelde, asymmetrische vormen.

Dit gezegd zijnde konden mathematisch-optici naar hartelust rekenen aan de ideale lensvorm, gewapend met wiskundige methodes en een geschikt brekingsmodel. Maar in hoeverre zo'n lens ook daadwerkelijk *gemaakt* kon worden was zeer de vraag. Van deze materiële beperkingen was men zich slechts tot op zekere hoogte bewust. Tot ver in de zeventiende eeuw werd bij het lenslijpen vaak genoeg genomen met de traditionele lensontwerpen – platbol of dubbelbol – zeker toen berekeningen lieten zien dat deze lenzen theoretisch bijna net zo goed presteerden als de meer ingewikkelde, asymmetrisch ontworpen (maar moeilijker te maken) lenzen. De daadwerkelijke overdracht van inzichten uit de optische theorievorming naar de lenslijppraktijk bleef echter uiterst beperkt.⁸

Evenmin zijn er aanwijzingen dat in Huddes werk – of meer algemeen in het midden van de zeventiende eeuw – kwantitatief rekening werd gehouden met de invloed van lensdikte op beeldscherpte, laat staan dat dergelijke inzichten zich in de lensproductie lieten gelden.⁹

8 Albert Van Helden, 'The Telescope in the Seventeenth Century', *Isis* 65 (1974) 38–58, m.n. 45, 49; D. Graham Burnett, *Descartes and the Hyperbolic Quest: Lens Making Machines and their Significance in the Seventeenth Century* (Philadelphia 2005).

9 In de berekening in Huddes *Specilla Circularia* domineren de brekingseigenschappen aan slechts één oppervlak (het eerste) van een lens. Het tweede oppervlak komt slechts beknopt aan bod, en hiervoor wordt (in de expliciete berekening) bewust een aplanatisch lensoppervlak gekozen (overal loodrecht op de gebroken stralenbundel) hetgeen de optische werking van dit oppervlak, en dus de invloed van de lensdikte op de breking, nihil maakt. Zie: Johannes Hudde, *Specilla Circularia* (1656) 5–7. Onze dank gaat uit naar Ad Davidse voor het beschikbaar stellen van een Nederlandse vertaling van de *Specilla*. In het werk dat Christiaan Huygens een decennium later aan aberratie verrichtte, wordt wel rigoreus voor een 'gesloten' lensmodel gekozen. In deze berekeningen figureert weliswaar een term voor de dikte van de lens, maar dit is de 'mathematische dikte' – de minimale mechanische dikte waarbij de randen van de lens, afhankelijk van de diameter, nog aansluiten. Dit is nodig voor de geldigheid van Huygens' brekingsmodel. Zie: Dijksterhuis, *Lenses and Waves* (n. 4) 67–71; Huib J. Zuidervaart & Tiemen Cocquyt, 'The early development of the achromatic telescope revisited', *Nuncius* (te verschijnen). De bekendheid van Huygens' formules nam toe na publicatie in zijn *Opuscula Postuma* in 1703, en nog geruime tijd waren dit de enige *kwantitatieve* formules voor sferische aberratie die bij lensberekeningen werden toegepast.

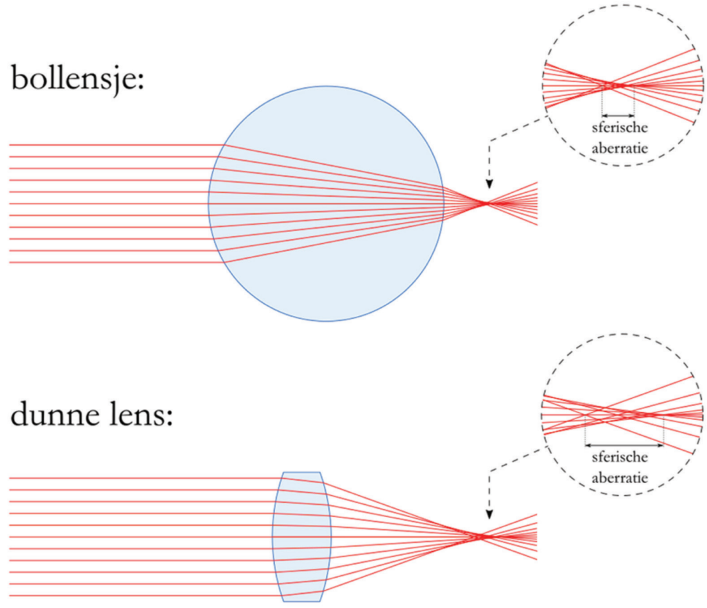


Fig. 2: lichtbreking en brekings'fouten' (sferische aberratie) voor een dik en dun lensje met gelijke brandpunt- en vergrotingseigenschappen.

Lensdikte is wel degelijk van invloed op de aberratie-eigenschappen van een lens, maar zelfs wanneer we tegenwoordig hier aan sleutelen begeben we ons in de laatste finesses van het proces van lensoptimalisatie – de invloed is niet erg voorspelbaar en soms erg subtiel.¹⁰

Beschouwen we bijvoorbeeld lensjes die lichtstralen van of naar een zeer nabijgelegen punt focussen, zoals het geval is in een enkelvoudige microscoop. Hoe het brekingsproces in zo'n geval uitpakt, is te zien in *figuur 2*, waar de stralengang berekend is met behulp van moderne *ray tracing*. De beide lensjes die daar zijn afgebeeld, hebben een gelijke brandpuntafstand – en dus een zelfde vergroting. De hoek waaronder de stralen tot een brandpunt worden gebundeld is namelijk gelijk. Echter, bij de dikke lens vindt de buiging aan het rechter oppervlak van de lens binnen een veel kleiner gebied plaats. De brekingshoeken zijn daar een stuk flauwer, en ook de brekingsfouten – die maken dat gebroken stralen niet in de richting van hetzelfde (brand)punt gaan – zijn daarom kleiner. Deze nemen namelijk toe naarmate de brekingshoeken groter worden. De detailplaatjes laten zien dat stralen door de dikke lens nauwkeuriger tot één punt worden samengebracht dan door de dunne lens.

Kortom, de bollensjes deden beslist niet onder voor de meer gangbare dunne, geslepen lenzen. Qua sferische aberratie presteren ze zelfs beter.¹¹ Naar alle waarschijnlijkheid werden die goede prestaties niet vooraf voorspeld via mathematisch-optische berekeningen.

¹⁰ Zie bijvoorbeeld: Rudolph Kingslake, *Lens Design Fundamentals, Second Edition* (Burlington/Oxford 2010) 79.

¹¹ Bollensjes moeten redelijkerwijs worden afgestopt tot een kleinere diameter voor zinvol gebruik. Bij de *raytracing* in *figuur 2* werd het bollensje over 30% van de totale diameter geëvalueerd. In dit geval valt de sferische aberratie ca. twee maal zo laag uit als voor een vergelijkbare dunne lens. Zie ook T.Y. Kingma Boltjes, 'Some experiments with blown glasses', *Antonie van Leeuwenhoek* 7 (1940/1941) 61–76, m.n. 62: 'Both Van Cittert and me used this method with good results. The images obtained with such lenses really are astonishingly good. They are remarkably free from spherical and chromatic aberration and even with a magnification of 500 times they still give the impression of being practically achromatic.'

Er zijn althans geen indicaties dat in de zeventiende eeuw de dikte van een lens doelbewust op sferische aberratie-eigenschappen werd geëvalueerd. Veeleer moet de geschiktheid van bollensjes voor de microscopie zijn opgevallen toen de glasbolletjes er eenmaal waren. De schaarse bronnen suggereren een experimenteel ontstaan van deze bollensjes en onze (hedendaagse) analyse van hun brekingskenmerken lijkt te bevestigen dat hun gunstige optische eigenschappen meteen in het oog moeten zijn gesprongen, eens de bolletjes als microscoop werden uitgetest.

Tot slot moeten we bij zeventiende-eeuwse lensslijpkunst ook technologische aspecten als glaskwaliteit in rekenschap nemen. De beschikbaarheid van helder, homogeen glas liet in de beginjaren vaak te wensen over. Een gangbare verklaring voor de trage intrede van de samengestelde microscoop (met meerdere lenzen) is dat de opeenstapeling van glas met beroerde eigenschappen de optische prestaties danig onderuit haalde. Wanneer één lens al slecht presteert, wordt het met meerdere lenzen alleen maar erger. Maar wanneer glas vol zit met roetdeeltjes en luchtbelletjes, en ook de dichtheid niet overal gelijk is, wil je zelfs met één enkele lens de lichtstralen zo snel mogelijk weer uit het glas vandaan hebben. Een voorkeur voor dunne lenzen ligt dan voor de hand.

Eén punt moet nog worden onderstreept. Bij het berekenen en vervaardigen van een dunne lens komen veel vrijheidsgraden kijken: bolling vóór, bolling achter, lensdikte – elk met zijn subtiele voor- en nadelen. In contrast hiermee valt op hoe verrassend simpel en qua vorm *eenduidig* Huddes bollensjes waren. De bolvorm definieert in één slag alle eigenschappen van de lens: de bolling is overal op het lensoppervlak gelijk, en de dikte van het lensje bedraagt simpelweg twee maal de kromtestraal. De enige variatie die nog mogelijk is, is de diameter van het glasbolletje. Kleine bolletjes hebben een sterke bolling en dus hoge vergroting, grotere bolletjes vergroten minder sterk. Het is een lensontwerp dat uitblinkt in zijn eenvoud, en – zo blijkt – ook in zijn optische prestaties.

Een reconstructie

Om nog beter te kunnen beoordelen waarom Huddes lensjes zoveel impact hadden in de zeventiende-eeuwse microscopie, zijn de huidige auteurs zelf aan het lensenslijpen en –smelten gegaan. Dit gebeurde in de glasateliers van het Corning Museum of Glass in Corning, New York. Aangezien elke noembare vorm van praktische ervaring bij de auteurs ontbrak, werden we bijgestaan door een team van doorgewinterde glasbewerkers (William Gudenrath, Eric Goldschmidt en Harry Seaman) die de *ins en outs* van glasl ijpen, dan wel glasblazen, beheersten. Onze doelstelling was evenwel om, binnen de termijn van één week, zelfstandig tot functionerende lensjes en enkelvoudige microscoopjes te komen.

Om Huddes bollensjes beter in perspectief te kunnen plaatsen, vingen we aan met lenslijpen op de traditionele manier, zoals dit in de lensproductie in eerste helft van de zeventiende eeuw gebeurde. Hierbij wordt begonnen met een blokje glas dat op een stokje wordt vastgekit. Het vrije oppervlak wordt in een holle metalen slijpschaal, bevestigd op een met de hand aangedreven pottenbakkerswiel, tot de gewenste vorm geslepen (*zie fig. 3*). Daarbij wordt in stappen gebruik gemaakt van steeds fijner slijppoeder. Bij de laatste stap, het polijsten, is het slijppoeder zó fijn dat de laatste ruwheid van het oppervlak verdwijnt. Het lensoppervlak krijgt dan zijn kenmerkende glans. Is één oppervlak klaar, dan wordt de kit losgemaakt en de (in dit stadium: platbolle) lens wordt omgekeerd bevestigd. Dezelfde stappen worden dan herhaald op het tweede lensoppervlak.

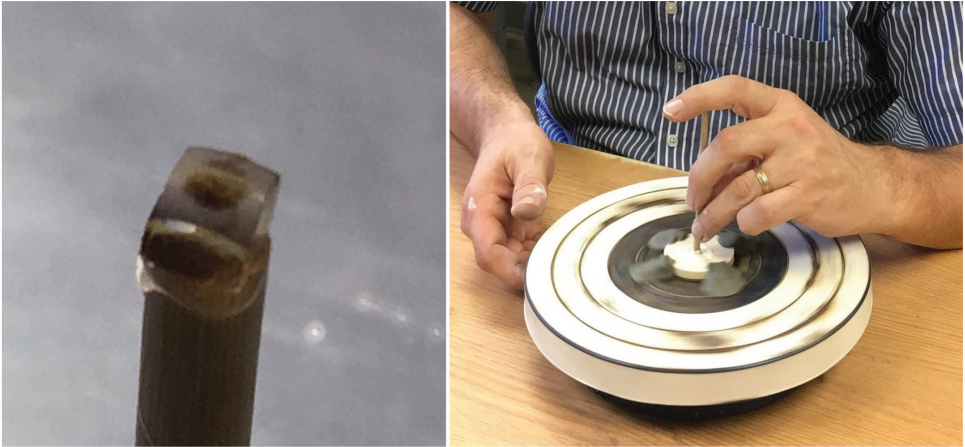


Fig. 3: Reconstructie van het slijpen van een lensje voor een enkelvoudige microscoop door het in een slijpschaal ronddraaien van een op een stokje vastgekit blokje glas. (Corning Museum of Glass).

Uit de zeventiende-eeuwse literatuur komt het lenslijpen als tijdrovende klus naar voren,¹² en dit kwam ook bij onze pogingen nadrukkelijk tot uiting. Hoewel (kleine) microscooplenzen aanzienlijk minder werk vereisen dan lenzen voor telescopen, bleek elke slijpiteratie toch minstens 15 minuten te beslaan. Bij het procedé werd slijppoeder van een zestal verschillende korrelgroottes gebruikt, dus elke lens moest twaalf iteraties ondergaan voordat beide kanten gereed waren. Bij het omdraaien van de lenzen wordt de lijm opgelost in alcohol en andersom bevestigd. Natuurlijk kan ook parallel worden gewerkt.

Ieder van ons ving aan met een viertal te slijpen lensjes. Bij elke iteratie werd vier maal op dezelfde korrelgrootte geslepen, daarna pas het slijppoeder gewisseld. De frustratie was dan ook groot toen na negen iteraties een lensje onverwacht van het stokje losliet. Opnieuw vastkitten was wel mogelijk, maar ligt niet voor de hand omdat de centrering van het lensje nooit precies tot zijn voormalige toestand kan worden hersteld. Een andere pijnlijke vaststelling vond plaats wanneer de lens zorgvuldig in vorm was geslepen, maar het polijsten nét te snel was uitgevoerd. Een goedgevormde matte, en dus ondoorzichtige lens was dan het resultaat. Aan het einde van de rit, na enkele dagen slijpen op een met de hand aangedreven slijpvorm, waren welgeteld twee van de twaalf lensjes tot een bruikbaar product omgetoverd. De rest was afgevalen door prematuur falen of onzorgvuldig polijstwerk. Ongetwijfeld kan oefening dit saldo opkrikken, maar de conclusie blijft: lenslijpen is lastig en tijdrovend.

12 Uitvoerige details over de zeventiende-eeuwse praktijk van het lenslijpen staan in het Journaal van Isaac Beeckman, door redacteur Cornelis de Waard tot één geheel samengevoegd in 'Notes sur le rodage et le polissage des verres': C. de Waard (red.), *Journal tenu par Isaac Beeckman de 1604 à 1634*, vol. 3 (Den Haag 1945) 370 ff. en in Christiaan Huygens' aantekeningen over het slijpen van lenzen: Huygens, *Oeuvres* 17 (n. 5) 287–304. Over Beeckmans en Huygens' aantekeningen, zie: F.J. Dijksterhuis, 'Labour on lenses: Isaac Beeckman's notes on lens making' in: A. Van Helden, S. Dupré, R.H. van Gent & H.J. Zuidervaart (red.), *The Origins of the Telescope* (Amsterdam 2010) 257–270; Anne C. van Helden & Rob H. van Gent, 'The Lens Production by Christiaan and Constantijn Huygens', *Annals of Science* 56 (1999) 69–79.

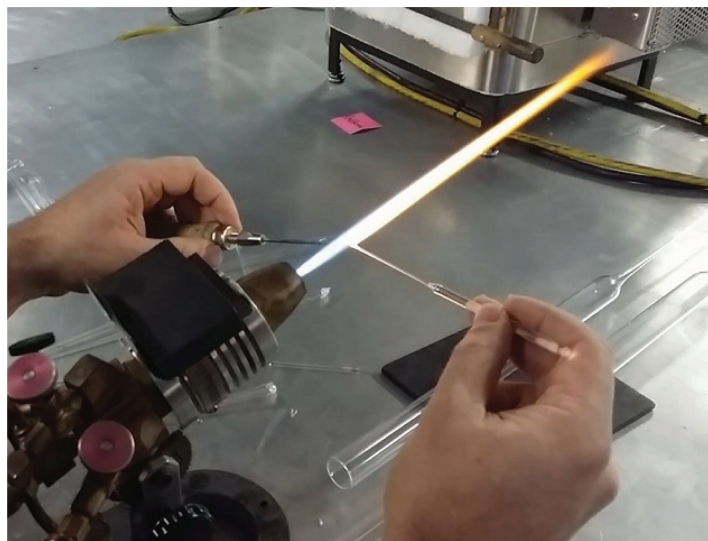


Fig. 4: Reconstructie van het smelten van een lensje voor een enkelvoudige microscoop volgens de 'Hudde-methode' door een druppeltje glas aan te brengen op de punt van een koperen staafje om dat vervolgens in een vlam rond te draaien tot een geschikt bolletje. (Corning Museum of Glass).

Hoe anders verliep het toen we met het procédé-Hudde aan de slag gingen. De werkwijze hiervoor laat zich het beste vertellen door de beschrijving die de Franse diplomaat Balthasar de Monconys in 1666 optekende over een bezoek aan Hudde:

Hij smolt simpelweg zuiver kristalglas in de vlam, waaruit hij het aanwezige zout onttrok door het glas te verhitten, want door dit te doen komt al het zout aan de oppervlakte van het glas, waarvan men het vervolgens makkelijk weghaalt. Nu het glas goed zuiver was, plaatste hij daarvan een beetje op de punt van een koperen naald, waar het glas zich in de gewenste hoeveelheid liet doseren. Door het glas vervolgens te laten smelten in de vlam, de naald daarbij ronddraaiend, vormt het zich op de punt van de naald vanzelf tot een perfecte bol.¹³

Bovenstaande beschrijving volstond voor een professionele glasblazer uit Corning Museum of Glass om, zonder oefening vooraf, meteen tot een bruikbare Hudde-lens te komen. Het zuiver maken van het glas, of 'ontdoen van zout', in de woorden van De Monconys, was in ons geval niet nodig – aangezien heldere staafjes natriumkalkglas (vensterglas) werden gebruikt. Het meest verbijsterend was de snelheid waarmee de glasbolletjes zich laten vervaardigen. Door de glasstaaf in de vlam tot een dunne draad te trekken, en daarna op een naald vloeibaar glas op te vangen en dit draaiend tot een bolletje te laten vormen, is de klus binnen een minuut geklaard (fig. 4). De hoeveelheid glas op de naald kan worden gevarieerd, en dit laat toe om grotere, dan wel kleinere bolletjes te vervaardigen.

In normale omstandigheden is de naald heet, waardoor het glas gemakkelijk loslaat. Het nieuw verkregen bollensje hoeft dan enkel nog even af te koelen. Toen de huidige auteurs de handelingen van de vakman overnamen, bleek het daar soms nog mis te gaan. *Figuur 5*

¹³ Balthasar de Monconys, *Journal des voyages* 2 (Lyon 1666) 161–162: 'Il faisoit simplement fondre à la lampe du cristal bien pur de soy, d'où il oste le sel qui est dedans, en le faisant rougir, car alors ce sel vient tout à la superficie du verre, dont on l'oste apres avec facilité. Le verre donc estant bien pur, il en prend un peu au bout d'une petite verge de fer rouge, où il s'en attache la quantité qu'on veut. Et alors le faisant fondre à la lampe, et tournant la verge de fer, au bout de laquelle il est, il s'arrondit de luy mesme parfaitement'.

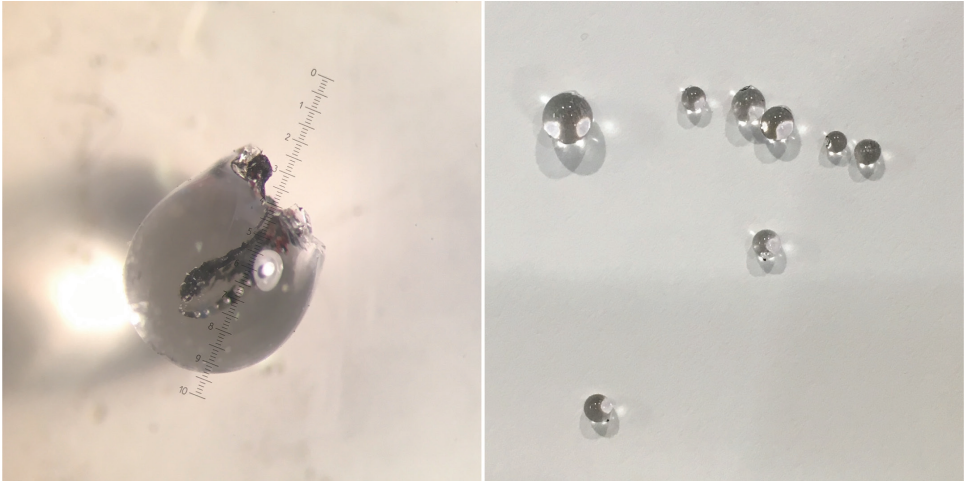


Fig. 5: *Links*: ‘Il s’arrondit de luy mesme parfaitement’, aldus De Monconys over Huddes bollensjes. Bij dit eerste probeersel (foto toont een microscopische opname) was dit niet het geval. De naald schroefde zich vast in het glas, met hinderlijke verontreinigingen tot gevolg. *Rechts*: Beter geslaagde Hudde-lensjes volgden snel.

toont het resultaat van een eerste poging tot lensjes smelten. Door gebrek aan handvaardigheid nam het overhevelen van het glas op de naald meer tijd in beslag dan nodig. Hierdoor was de naald oververhit geraakt, en had deze zich vastgesmolten in het glas. Resterend in het glas zijn (flinke) koolstofsporen van de naald, begeleid door luchtbelletjes die aangeven dat het glas door een toevloed aan hitte is gaan koken. Dit samenspel van vervuilingen maakt de lens onbruikbaar.

Hoopgevend is niettemin dat na een vijftal pogingen de kwaliteit van de lenzen sterk toenam. Nadat de techniek was ingedaald, rolden er opeenvolgende reeksen van geslaagde lensjes uit het experiment. Het contrast met het lenzenslijpen kon niet groter. Waar het lenzenslijpen verschillende dagen vergde om tot welgeteld twee bruikbare lensjes te komen, leverde het procédé-Hudde tientallen lensjes op, en dit in een slechts een uurtje tijd. Die laatste ervaring past goed bij wat de zeventiende-eeuwse bronnen aangeven: in 1678 contrasteerde Johannes Swammerdam – die de kunst van Hudde had geleerd – beide methodes door te melden dat hij er ‘wel 40 in een uur kan maaken, soo is de eene by de andere, als de keers by de son.’¹⁴

Het verschil tussen beide lensmaaktechnieken ligt duidelijk in het tijdsbeslag, maar is ook procedureel van aard. Bij *lensslipen* wordt de uiteindelijke lensvorm bepaald door de dikte van de glasblokjes of –platen waarmee begonnen wordt en door de kromming van de slijpschalen. De optische kwaliteit van het eindproduct is heel sterk afhankelijk van de zorgvuldigheid waarmee het integrale slijpproces is uitgevoerd. Bij gesmolten lensjes draait alles om één bepalende factor: oppervlaktetensioning. De oppervlaktetensioning van het vloeibare glas zorgt voor een volkomen glad lensoppervlak, zonder enige noodzaak tot polijsten. Het oppervlak is ‘vuurgepolijst’. Maar de oppervlaktetensioning dicteert ook de bolvorm van het

¹⁴ Johannes Swammerdam aan Melchisédec Thévenot, najaar 1678, in: G.A. Lindeboom, *The letters of Jan Swammerdam to Melchisedec Thévenot* (Amsterdam 1975) 138–139.

resulterende lensje. Net zoals water ertoe neigt druppels te vormen, neemt glas bij afwezigheid van externe spanningen de bolvorm aan. Krachtentechnisch is de bol de vorm waarbij de oppervlakte van een massa het kleinst is. De neiging van het glas om ‘vanzelf’ bolletjes te vormen kan niet worden onderschat. Al in de zeventiende eeuw werd dit kenmerk van Huddes lensmaakmethode expliciet vermeld.

Dit zien we bijvoorbeeld in bovenstaand citaat van De Monconys, waarin deze stelt dat het glasbolletje ‘uit zichzelf een perfecte bol vormt’. Ook de gebroeders Von Uffenbach benadrukten, in hun relaas over Van Leeuwenhoeks productiemethodes, hoe deze er pas na jaren in slaagde met smeltmethodes lensjes te maken die *niet* bolvormig waren. Deze claim van Leeuwenhoek werd dan ook met ongeloof ontvangen: ‘Mijn broer kon dit niet geloven, en zag het dan ook aan voor een Hollandse grap, aangezien het onmogelijk is door glasblazen enige andere vorm te bekomen dan een bol of een rond uiteinde’.¹⁵ Opnieuw een bevestiging dat de bolvorm vanzelf ontstaat, en dat dit verschijnsel duidelijk werd opgemerkt eens Huddes lensjes bekendheid verwierven.

Continuïteit versus breekpunt: lenstoepassingen in de zeventiende eeuw

Met de bollensjes die Hudde omstreeks 1660 ontwikkelde, had hij succes te pakken. De smeltmethode liet toe in een minimum van tijd kwalitatief uitmuntende lenzen te maken die voor microscopische doeleinden erg geschikt waren. De innovatie zat in het aanwenden van een nieuwe technologie – het smelten van glas – een methode die tot op dit moment nog niets met het vormingsproces van lenzen te maken had. Sterker nog, het procedé week zo sterk af van de gebruikelijke lensmaakmethodes, dat we in de optische traditie waarschijnlijk ook geen inspiratiebron of voorgeschiedenis voor Huddes bollensjes moeten zoeken.

Een zijdelingse vermelding in een achttiende-eeuwse dichtbundel door Claas Bruin – waarin het vergrootglas metaforisch wordt opgevoerd – werpt mogelijk een interessant licht op de wijze waarop Hudde tot zijn bollensjes kwam. Zich baserend op een getuigenis van Jan Makreel, een bekende wetenschappelijke liefhebber uit Amsterdam, die van Hudde persoonlijk een enkelvoudige microscoop had gekregen, meldt Bruin, weliswaar zeventig jaar na de feiten:

[...] dat zyn Wel Ed. [i.e., Hudde] een draad van lak aan een bolletje liet smelten, waar uit hy de mogelykheid begreep dat zulks ook van glas kunnen werkstellig gemaakt worden, 't geen hem ook naar wensch gelukte.¹⁶

Voorts is eerder opgemerkt hoe Hudde voorafgaand aan zijn lensproductie begaan was met het maken van *Lacrymae Batavae*, ofwel ‘Hollandse tranen’, later meer bekend geworden onder de naam ‘Prince Rupert’s drops’.¹⁷ Dit zijn traanvormige glazen druppels die

15 Uffenbach, *Merkwürdige Reisen* (n. 7) 359: ‘Mein Bruder wolte solches nicht glauben, sondern hielte es vor Hollandisch gejoct, indem es unmöglich, im Blasen etwas anders als eine Kugel oder Endung zu formiren’.

16 Claas Bruin, *De lustplaats Soelen, in dichtmaat uitgebreid* (Amsteldam 1723) 105–106. Met dank aan Huib Zuidervaart voor deze bron. Zie voor de makelaar Jan Makreel (overl. 1717), het artikel van Rienk Vermij, ‘De Nederlandse vriendenkring van E.W. von Tschirnhaus’, *Tsch. Gesch. Gn. Natuurw. Wisk. Techn.* 11:4 (1988) 153–178; idem, ‘The Formation of the Newtonian Philosophy: The Case of the Amsterdam Mathematical Amateurs’, *The British Journal for the History of Science* 36:2 (2003) 183–200.

17 Zuidervaart & Anderson, ‘Antony van Leeuwenhoek’s microscopes’ (n. 1) 261. Deze glastranen zouden voor het eerst gesignaleerd zijn in Mecklenburg rond 1600. In de jaren 1650 zouden ze echter vooral gemaakt zijn in

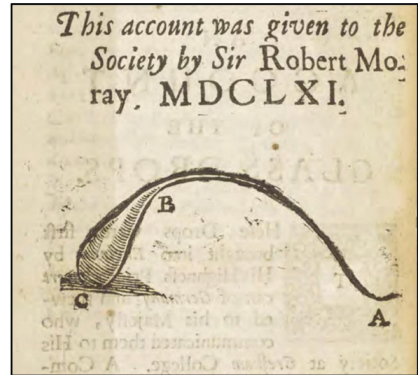


Fig. 6: 'Prince Rupert's drops', ook wel *Lacrymae Batavicae*, ofwel 'Hollandse tranen' genoemd: abrupt in water gestolde glazen druppels met interne spanningen, die in het midden van zeventiende eeuw tot veel beroering aanleiding gaven. Afbeelding uit de vermeerderde, Engelse vertaling van Antonio Neri, *The Art of Glass [...]* Whereunto is added an account of the Glass Drops, made by the Royal Society, meeting at Gresham College (1662).

onmiddellijk na het smelten abrupt in koud water werden geworpen. Het snelle afkoelen leidde tot extreme spanningen in het gestolde glas. Het dikke eind van de druppel was zo hard dat het de klap van een hamer kon weerstaan. Anderzijds was een tikje tegen de staart voldoende om de hele druppel uit elkaar te laten knallen. 'Prince Rupert's drops' zorgden voor verbazing, en waren midden zeventiende eeuw populair in geleerde kringen. Ondermeer Constantijn Huygens correspondeerde over de druppels in de jaren 1650.¹⁸ De naam 'Prince Rupert's drops' verwijst naar de Duitse prins Ruprecht van de Palts, die de druppels in 1660 in Engeland bekendheid gaf. Kort hierop werden ze bestudeerd binnen de Royal Society (zie fig. 6).¹⁹ Robert Hooke's microscopische bestseller *Micrographia* (1665) wijdt enkele pagina's aan hun kenmerken.²⁰

Om 'Prince Rupert's drops' te maken moet glas in een hittebron – een oven of een open vlam – worden gesmolten om druppels te vormen. Dit zijn precies de omstandigheden waarbij de ontdekking van het vergrotende effect van de glasdruppels voor de hand ligt. Niet toevallig komt ook Hooke in 1665 met een beschrijving van een gelijkaardige manier om kleine bollensjes te maken die uitermate geschikt zijn voor microscopische waarneming. In tegenstelling tot Hudde komt er bij Hooke geen naald te pas aan de vervaardiging. De balletjes worden direct aan het einde van een dun glazen staafje gevormd, dat daarna wordt afgebroken. Het resterende staartje kan dan worden afgeschermd of weggeslepen. Een voordeel van Hooke's methode is dat er, door afwezigheid van een naald, minder verontreinigingen optreden in het glas. Het is een methode die, nog meer dan Huddes procedé, bedrijfszekerheid biedt – en de huidige auteurs slaagden er in hun reconstructie dan ook meteen in deze succesvol tot uitvoering te brengen. Gezien de verschillen wordt

glashuizen te Amsterdam. Zie: L. Brodley [et al.], 'Prince Rupert's Drops', *Notes and Records of the Royal Society of London* 41 (1986) 1–26, m.n. 6–7.

18 Peter de Clercq, 'Brittle glass: a fragile chapter in the history of experimental physics', in: R.G.W. Anderson, J.A. Bennett & W.F. Ryan (eds.), *Making Instruments Count. Essays on Historical Scientific Instruments presented to Gerard L'Estrange Turner* (Aldershot 1993) 255–267.

19 Antonio Neri, *The Art of Glass [...]* Whereunto is added an account of the Glass Drops, made by the Royal Society, meeting at Gresham College (London 1662) 353 ff. Het door de Engelse vertaler Christopher Merrett toegevoegde relaas over de experimenten bij de Royal Society – opgesteld door Sir Robert Morey – vangt aan met 'These Drops were first brought into England by His Highness Prince Rupert out of Germany, and shewed to His Majesty, who communicated them to His Society at Gresham College'.

20 Robert Hooke, *Micrographia* (London 1665) 33–44.

aangenomen dat Hooke deze ontdekking onafhankelijk van Hudde deed.²¹ Eén aspect hebben beide ontdekkers echter gemeen: een bekommernis met ‘Prince Rupert’s drops’, en bijgevolg een vertrouwdheid met de smelteigenschappen van glas.

Dat aan Huddes ontdekking zo’n sterke *technologische* oorzaak ten grondslag lag, brengt ons tot een ander aspect van de zeventiende-eeuwse microscopie en haar historiografie: de veronderstelde continuïteit in de vroege materiële cultuur van de microscoop. Hoewel in afgelopen decennia is beschreven hoe de onderzoekscontext in de zeventiende-eeuwse microscopie een neerslag vormde van evoluerende epistemologische tradities,²² wordt in de lensvervaardigingspraktijk voorsnog weinig discontinuïteit verondersteld. Bij gebrek aan geschreven bronnen wordt al te vaak verondersteld dat de microscoop werd *uitgevonden* op een welbepaald tijdstip, en hierna een *continue* technologische ontwikkeling kende. Het is met name gangbaar het startpunt van de zeventiende-eeuwse microscopische praktijk te vertellen als zijnde een afsplitsing van de grote broer, de telescopie.²³ De in 1608 uitgevonden telescoop leverde de eerste instrumentele ‘extensie’ van de menselijke zintuigen door een combinatie van lenzen. Ongetwijfeld heeft de telescoop het pad geëffend voor de microscoop, niettegenstaande het feit dat de aanvaarding als legitieme bron van filosofische kennis voor beide instrumenten verschillend verliep.²⁴ Voor de telescoop kon, bij gebruik op aarde, met eigen ogen worden geverifieerd wat het instrument vergroot liet zien – bij de microscoop was dit niet het geval. Wel bouwde de samengestelde microscoop, die omstreeks 1620 het licht zag, qua ontwerp voort op de kort voordien uitgevonden telescoop.

Desondanks is het een feit dat het meest gebruikte – ja het meest succesvolle – type microscoop van de zeventiende eeuw de *enkelvoudige* microscoop was, een instrument dat in werkingsprincipe niet wezenlijk verschilt van een simpel vergrootglas.²⁵ (‘Vergrootglas’ was trouwens ook de aanduiding waarmee Van Leeuwenhoek veelvuldig aan zijn eigen microscoop refereerde.²⁶) Dat roept de vraag op naar het belang van de *longue durée*, anders gezegd, of we de microscoop niet eerder moeten zien als een door filosofische en praktische factoren ingegeven doorontwikkeling van de bril en het vergrootglas dan – zoals doorgaans het geval is – een bijproduct van de ontdekking van de telescoop.

Uit technologisch oogpunt had de opticus en conservator Pieter van Cittert dan ook een goed punt toen hij in 1934 zijn catalogus van de Utrechtse microscopencollectie aanving

21 Zie bijvoorbeeld Van Zuylen, *On the microscopes of Antoni van Leeuwenhoek* (n. 1) 162.

22 Marian Fournier, *The Fabric of Life. Microscopy in the Seventeenth Century* (Baltimore 1996); Eric Jorink, *Reading the Book of Nature in the Dutch Golden Age, 1575–1715* (Leiden 2010).

23 Zie bijvoorbeeld: Edward G. Ruestow, *The Microscope in the Dutch Republic. The Shaping of Discovery* (Cambridge 1996) 6–7.

24 Albert Van Helden, ‘The birth of the modern scientific instrument’, in: John G. Burke (ed.), *The Uses of Science in the Age of Newton* (California 1983) 49–84.

25 Brian J. Ford, *Single Lens. The Story of the Simple Microscope* (London 1985); Ruestow, *The Microscope in the Dutch Republic* (n. 23) 6–36.

26 Zie bijvoorbeeld Van Leeuwenhoek’s observatie van het sperma van een hond ‘met een goed vergrootglas’. Antoni van Leeuwenhoek aan de Royal Society of London, 30 maart 1685, in: *Alle de Brieven van Antonie van Leeuwenhoek* 5 (Amsterdam 1957), brief no. 84. Een vroege vermelding die de rol van *semantiek* onderstreept in de historiografie van de microscoop, is te vinden in Isaac Beekmans Journaal. In maart 1620 becommentarieerde hij een verwijzing naar Galenus met ‘Twelck sonder schade van den siekten soude konnen geschieden met sulck eenen bril daerdoor men sien kan dat een vloot eenen steert heeft. Men soude oock veel dingen in de siekte sien, die men nu niet en siet, ende soude veel baten.’ Pas acht jaar later voegde Beekman hieraan de annotatie ‘Microscopij’ toe, nadat Johann Faber in 1625 deze naam voor het instrument had geïntroduceerd. Zie De Waard (red.), *Journal Beekman*, 2 (n. 12) 33.

met: 'The discovery of the lens includes the discovery of the microscope, for, once the first positive lens was constructed, its magnifying power must at once have been apparent'.²⁷ Wegen we de uitgesproken voorkeur voor enkelvoudige microscopen mee in de historiografie van het instrument, dan wordt duidelijk hoe het – in tegenstelling tot de telescoop – ontbreekt aan duidelijk aanwijsbare technologische innovatie die de geboorte van de microscoop markeert.

Hoe anders zijn de omstandigheden wanneer Hudde, vijftig jaar later, zijn bollensjes de wereld in helpt! De incorporatie van smelttechnieken uit een andere glasbeworktraditie brengt plotsklaps aanzienlijke tijdswinst in de lensproductie, zonder dat daarbij aan kwaliteit wordt ingeboet – integendeel! Er is nu wél sprake van een technologisch breekpunt. Waarschijnlijk verlegden Huddes bollensjes ook de schaalbaarheid van microscoop-lensjes, en daarmee het scala aan beschikbare vergrotingen. Een getuigenis uit 1680 van de Amsterdamse arts Steven Blankaart – die de ontwikkeling van de lensjes foutief aan Nicolaas Hartsoeker toeschrijft – leest 'de groote moet ontrent zyn van een gemeene peper, want hoe kleinder zy zyn, hoe grooter zy de zaken kunnen vertoonen'.²⁸ Lensjes met heel sterke bolling, en dus hoge vergroting, worden al snel te klein om praktisch met traditionele slijptechnieken te lijf te gaan. Bij smelten op een naald stelt dit probleem zich minder. Minuscuul kleine glasbolletjes vormen zich net zo 'automatisch' door oppervlaktespanning als grotere lensjes, en misschien zelfs beter. Als er daarom één ding is dat Huddes ballensjes bewerkstelligden, was het de *bereikbaarheid* van significante microscopische vergrotingen voor iedereen die zich de moeite troostte met kaars, naald en glasstaafjes in de weer te gaan – zonder dat daarbij het specialistische en moeizame pad van lenzenlijpen moest worden bewandeld. Huddes lensjes droegen daarom al het potentieel in zich van een significante technologische innovatie. Echter, hun impact, en dus hun belang binnen de zeventiende-eeuwse microscopie, hing af van Huddes navolgers.

Het lot van Huddes lensjes

Met de toepassing van Huddes lensjes is iets vreemds aan de hand. Zoals uit de openingsalinea van dit artikel bleek, startte menig beoefenaar uit de bloeiperiode van de Nederlandse microscopie met de bollensjes van Hudde. Van Leeuwenhoek, Swammerdam, Spinoza, Hartsoeker, Huygens, Van Schrieck, Vossius en zeer waarschijnlijk ook Nicolaes Witsen maakten gebruik van het proces – dan wel van kant-en-klare Hudde-lensjes. Voor velen lijkt de praktijk echter niet van erg lange duur te zijn geweest. Zoals vermeld was Van Leeuwenhoeks appreciatie voor de lensjes tegen 1710 in een 'grote minachting' omgeslaan; hij prefereerde de enkelvoudige microscoop in een versie die hij zelf had doorontwikkeld; zijn instrumentjes hadden in de regel dunne, geslepen lensjes.²⁹ Christiaan Huygens experimenteerde met bollensjes, maar prefereerde het gebruiksgemak van de samengestelde microscoop.³⁰ Weliswaar was het microscoopontwerp dat Huygens in 1678 lanceerde enkelvoudig,

27 P.H. van Cittert, *Descriptive catalogue of the collection of microscopes of the Utrecht University Museum, with an introductory historical survey of the resolving power of the microscope* (Groningen, 1934) 5.

28 Steven Blankaart, *Collectanea Medico-Physica, oft Hollands Jaar-Register* (Amsterdam 1680) 200–201.

29 Dat Leeuwenhoek dunne lensjes gebruikte blijkt niet alleen uit het citaat van de Von Uffenbachs, maar ook uit de meetgegevens van de bewaardgebleven exemplaren. Zie: Van Zuylen, 'On the microscopes of Antoni van Leeuwenhoek' (n. 1) 178. Van Leeuwenhoeks bewering aan de Von Uffenbachs was dus niet louter retorisch van aard.

30 Ook Robert Hooke, die een eigen procedé voor de enkelvoudige 'gesmolten' lens ontwikkelde, verfoeide het gebruik ervan op grond van gebruiksgemak. Zie R. Hooke, 'Microscopium, or some new discoveries made with

en kende dit bovendien commerciële navolging; het werd uitgerust met zwakkere, dunne geslepen lenzen.³¹ Ook Nicolaas Hartsoeker kwam in de eindjaren van de zeventiende eeuw met een eigen microscoopontwerp (later in Engeland nagevolgd door James Wilson). De enkele instrumenten die aan Hartsoeker worden toegedicht, wekken echter de suggestie dat bollensjes hierin geen enkele rol speelden.³²

Waarom vielen Huddes lensjes uit de gratie bij de nieuwe generatie van microscopisten? Het antwoord lijkt te liggen in een combinatie van interne en externe factoren. In de eerste plaats zijn er wel degelijk intrinsieke eigenschappen die het gebruik van bollensjes voor sommige toepassingen minder wenselijk maken. De *clue* is dat we de bollensjes niet uitsluitend op hun aberratie-eigenschappen moeten beoordelen, maar ook op gebruikerswensen binnen de microscopische praktijk. Dunne lenzen hebben bijvoorbeeld een breder blikveld dan bollensjes. Er is daarmee simpelweg meer te zien. Een en ander heeft te maken met het gebruik lensjes met diafragma's af te stoppen. In het geval van een bollensje liggen de openingen (vanwege de dikte van de lens) verder uit elkaar, en lijkt het haast alsof je door een 'tunnel' kijkt: het blikveld is erg klein. Bij een dunne lens is dit minder het geval. Het beeld presenteert zich dan ruimer – of, preciezer geformuleerd: het beeld behoudt zijn scherpte over een ruimere breedte van het blikveld. Dit was althans wat Leids conservator Pieter van der Star als reden vermoedde voor Van Leeuwenhoeks overstap naar geslepen lenzen; op andere bezwarende omstandigheden kon hij namelijk maar moeilijk de vinger leggen.³³

Een ander nadeel kan zich voordoen wanneer we ruimtelijk 'uitgebreide' objecten bij een hoge vergroting bekijken, want dan is bij een bollensje de 'back focal distance' erg kort. Dit is de afstand van het brandpunt van de lens tot het lensoppervlak. Dit verschijnsel is te zien in *figuur 2*. Hoewel beide lensjes een gelijke brandpuntafstand hebben, en dus een zelfde vergroting, laat het bollensje merkbaar minder ruimte over tussen brandpunt en lensoppervlak. Er is daardoor minder ruimte voor een preparaat. Bij hoge vergrotingen kan dit nefast uitpakken, en bollensjes op grond hiervan ongeschikt maken.³⁴

Tot slot nam in de laatste decennia van de zeventiende eeuw de commerciële beschikbaarheid van microscopen explosief toe. Van groot belang voor de Nederlandse markt was bijvoorbeeld de enkelvoudige microscoop die de Leidse instrumentmaker Samuel van Musschenbroek omstreeks 1673 op de markt bracht. Het product was een *bestseller* tot het bedrijf

and concerning microscopes' [comments on two letters by Leeuwenhoek], in: *Lectures and Collections* (London: J. Martyn, 1678), het jaar erna herdrukt in R. Hooke, *Lectiones Cutlerianae* (London 1679) 81–104, m.n. 96: '[...] 'tis exceeding difficult to handle and put into its cell: besides, I have found the use of them offensive to my eye, and to have much strained and weakened the sight, which was the reason why I omitted to make use of them, though in truth they do make the object appear much more clear and distinct, and magnifie as much as the double Microscopes'.

31 Marian Fournier, 'Huygens' design for a simple microscope', *Annals of Science* 46 (1989) 575–596.

32 Geen enkele microscoop kan met zekerheid aan Hartsoeker worden toegeschreven. Voor mogelijke kandidaten, zie: Marian Fournier, *Early microscopes, a descriptive catalogue* (Leiden 2003) 38; Karsten Gaulke & Bjoern Schirmeier, *Optica: Optische Instrumente am Hof der Landgrafen von Hessen-Kassel* (Kassel 2011) 83. Inspectie bracht aan het licht dat beide instrumentjes een dun, niet-bolvormig lensje bevatten.

33 Pieter van der Star, *Descriptive Catalogue of the Simple Microscopes in the Rijksmuseum voor de Geschiedenis der Natuurwetenschappen at Leyden* (Leiden 1953) 19–21.

34 Een contemporaine aanwijzing dat de beperkte ruimte voor het preparaat als nadeel werd ervaren, staat ondermeer in Hooke: 'But because these, though exceedingly easily made, are yet very troublesome to be us'd, because of their smallness, and the nearness of the Object; therefore to prevent both these [...]'. Hooke, *Micrographia* (n. 20) xxii.

in 1748 de boeken sloot.³⁵ Mogelijk maakten de kant-en-klare commerciële microscoopjes het toepassen van Huddes lenssmeltprocedé overbodig.³⁶ Bovendien zullen commerciële microscoopmakers eerder de neiging hebben gehad gebruiksgemak, een groot blikveld en een helder beeld te laten prevaleren in hun producten, aangezien deze kenmerken bij de klant als eerste in het oog sprongen.

Kortom, de optische prestaties van kleine bollensjes zullen hun toepassing niet in de weg hebben gestaan. Veeleer werd de voorkeur voor de soort lens bepaald door de eigenschappen die een specifiek gebruik van de enkelvoudige microscoop stelt: de wens voor een grote voorwerpsafstand, een groot blikveld, een bepaalde vergroting. Uiteindelijk draait alles om de balans tussen vervaardigingsgemak, optische prestaties en gebruiksgemak. Op de eerste twee aspecten scoorden Huddes lensjes omstreeks 1660 bijzonder hoog. Voor wie in deze tijd kennis nam van Huddes lensmaakprocedé, moet de technologische winst onmiskenbaar duidelijk zijn geweest. Later lijkt deze balans te zijn verschoven in de richting van gebruiksgemak.

Tot slot biedt wellicht ook een uitspraak van Van Leeuwenhoek over Huddes bollensjes een goede inkijk in de afweging van een zeventiende-eeuwse geleerde:

‘Wat mij belangt, al hoewel ze bij mij al ontrent 40 jaren geleden van een ongemene kleinheit zijn gemaakt, zoo zijn ze bij mij wejnig in gebruik, ze dienen na mijn oordeel niet, om eerste ontdekkingen te doen en daar toe sijn bequaam, die geene, die uijt een grooter diameter sijn gesleepen.’³⁷

Van Leeuwenhoek geeft aan een grote diameter, i.e. een lage vergroting, te verkiezen voor zijn exploraties van de microscopische wereld. Schijnbaar was een hoge vergroting – waar zijn bewaard gebleven instrumentjes nota bene bekend om staan – niet het allerbelangrijkste voor de doorgewinterde microscopist. Het versterkt de breder geldende indruk dat zeventiende-eeuwse microscopie allesbehalve een continue evolutie was, enkel aangejaagd door een graduele toename van vergroting en oplossend vermogen. Nog omstreeks 1839 paste Utrechts plant- en dierkundige Pieter Harting een commercieel vervaardigde samengestelde microscoop aan eigen behoeften aan, door de objectieflenzen te vervangen door glasbolletjes volgens het procedé-Hudde.³⁸ Het benadrukt dat de navolging van Huddes lensjes weliswaar selectief en toepassingsgebonden was, maar wel van verrassend lange duur.

‘Glasblazen’ reconsidered

Huddes lensjes brachten glasblaastechnieken binnen het domein van het lensmaken. Essentieel hiervoor was een vlam die voldoende hitte levert zodat glas tot een dunne draad kan

35 Peter de Clercq, *At the sign of the Oriental Lamp. The Musschenbroek workshop in Leiden, 1660–1750* (Rotterdam 1997) 115–119.

36 Het verdient nader onderzoek in welke mate glasbolletjes nog voortleefden in de commerciële microscopen vanaf de latere zeventiende eeuw – met name voor de hogere vergrotingen. Duidelijk is wel dat de lagere vergrotingen, die in deze instrumenten het meest courant waren, werden voorzien door middel van dunne, geslepen lensjes. Zie ook: Van der Star, *Descriptive Catalogue of the Simple Microscopes* (n. 33) 28, waarin wordt gewezen op discrepanties in de contemporaine bronnen over het toepassen van dunne lensjes dan wel bollensjes door Johan (Joosten) van Musschenbroek in zijn sterkst vergrotende microscopen.

37 Antoni van Leeuwenhoek aan de Royal Society, 9 juni 1699, in: *Alle de brieven van Antoni van Leeuwenhoek*, vol. 12 (Amsterdam 1989) 296: brief no. 200.

38 Van Cittert, *Descriptive catalogue of the collection of microscopes* (n. 27) 32.

worden getrokken om er vervolgens een bolletje van te smelten. Dit maakt het relevant dieper in te gaan op de manier waarop deze hittebron in de zeventiende eeuw werd verkregen.

Toen de huidige auteurs het maken van Hudde-lensjes uitprobeerden, werd gebruik gemaakt van een moderne, gasgevoede glasblazersbrander – een ‘lamp’ in vakjargon. Gek genoeg lijken de middelen in de zeventiende eeuw, in essentie, niet zo heel erg anders te zijn geweest. Een beschrijving van een gebruikelijke opstelling om kleine hoeveelheden glas te smelten, vinden we in instructies van Robert Hooke uit 1678. Hooke beschrijft een tinnen doosje dat aan alle kanten is afgesloten, op een opening in het deksel na. Hieruit komt een vlam, brandend gehouden door olie en een wiek binnenin. Omheen dit kleine doosje zit een groter blikken doosje, bedoeld om de hitte af te zonderen en schroeivlekken te vermijden. Bovenop deze opstelling is in de richting van de vlam een ‘soldeerpijpje’ geklemd. Dit is niet veel meer dan een buisje met een nauwe opening op het eind, waarmee gericht kan worden geblazen. Vervolgens, aldus Hooke:

door dit pijpje met je mond lucht blazend, schiet de vlam met een grote snelheid en helderheid naar voren; wanneer je dan een klein stukje witglazen buis in de vlam houdt [...] zal je zien dat de vlam in korte tijd het midden van de glazen buis doet smelten.³⁹

Zo’n opstelling moet bekend zijn bij blikslagers, zegt Hooke, daarom kunnen zij ook het beste dit ‘apparaat’ voor je maken. Maar voor hen zonder blikslager in de buurt, kan het ook anders. Hoewel wat moeizamer, lukt het glassmelten ook met slechts een gewone kaars en een aarden tabakspijp, aldus Hooke. Kortom: glassmelten – en in extensie lensvervaardiging – wordt voor iedereen toegankelijk. Niet alleen heb je geen lenzenlijper meer nodig, zelfs op een glasblazer hoeft geen beroep meer worden gedaan.

Voorts geeft deze instructie nog iets opmerkelijks te kennen over het proces dat ‘glasblazen’ heet – dus over de betekenis en het gebruik van deze term. Bewerk je op deze manier glas, dan is je mond continu in de weer met de zuurstoftoevoer voor de vlam. Anders krijg je niet genoeg hitte. Dit betekent dat er geen ruimte meer is om daarnaast ook nog op het glazen bronmateriaal, en pijpje o.i.d., te blazen om het te vormen. ‘Glasblazen’ betekent dan letterlijk het blazen in een vlam om de hitte te produceren, vereist om glas te kunnen smelten.⁴⁰

Hudde-lensjes en de Specilla circularia

Huddes *Specilla circularia* verscheen in 1656. Hoewel onmiskenbaar toepassingsgericht, was het een theoretisch werkje over sferische aberratie. De lensjes die Hudde in de daaropvolgende jaren ontwikkelde, vloeiden voort uit een technologische ontdekking. Oppervlaktespanning maakte dat Huddes lensjes ‘vanzelf’ een uitstekende bolvorm verkregen. Beide

39 Hooke, ‘Microscopium’ (n. 30) 90–91: ‘[...] through which pipe, blowing with your breath, the flame will be darted forward with great swiftness and brightness; if then into this flame you hold a small piece of a glass pipe, made of white glass [...] you shall find that the flame will in a very short time melt the middle part of the said pipe [etc.].’

40 Dit heeft consequenties voor de interpretatie van Leeuwenhoeks bewering ‘dass er durch zehnjähriges Speculiren es dahin gebracht, dass er eine taugliche Art blasen gelernt, welche aber nicht rund wären’. Mogelijk doelde hij niet op glasblazen in de moderne betekenis, maar een *smeltmethode* voor glas. Uffenbach, *Merkwürdige Reisen* (n. 7) 359. Zie in dit verband ook: Van Zuylen, ‘On the microscopes of Antoni van Leeuwenhoek’ (n. 1) 182–185; Zuidervaart & Anderson, ‘Antony van Leeuwenhoek’s microscopes’ (n. 1) 263–264.

bijdragen behoren daarom tot een ander domein. De *Specilla circularia* in verband brengen met Huddes bollensjes lijkt dan op het eerste zicht vergezocht. Zoals we zagen, moet de oorsprong van de bollensjes veeleer *buiten* de optische traditie worden gezocht, in de praktijk van glassmeltmethodes zoals die zich, bijvoorbeeld, bij het vervaardigen van ‘Prince Rupert’s drops’ aandienen.

Toch valt er indirect een verband te leggen tussen de onderzoeksmaterie in de *Specilla* en Huddes lensjes. De bollensjes van Hudde werden gekenmerkt door een erg korte brandpuntafstand, in combinatie met de grote openingshoeken die invallende lichtstralen kunnen maken. In moderne terminologie wordt gesproken van een hoge *numerieke apertuur*. Deze eigenschap is inherent aan de bolvorm van de lensjes. Met Huddes lensjes waren uitzonderlijke optische prestaties mogelijk, *op voorwaarde* dat de werkingsdiameter van de lensjes voldoende klein werd gehouden – met andere woorden, dat de lensjes werden afgestopt met een diafragma. Zoniet, dan liep de sferische aberratie alsnog de spuigaten uit.⁴¹ Dat het afstoppen van Huddes lensjes overeenstemt met de zeventiende-eeuwse praktijk, blijkt duidelijk uit de contemporaine bronnen.⁴² Dit gebruik is interessant omdat het afstoppen van lenzen al sinds de eerste decennia van die eeuw een noodzakelijke ingreep was om een goede optische kwaliteit te garanderen. Sterker nog, zoals recent is geargumenteed hing de levensvatbaarheid van de telescoop anno 1608 samen met deze ingreep.⁴³ Er is echter een principieel verschil tussen *hetgene* dat eerder bij (telescoop)lenzen en, nu, bij Huddes bollensjes, werd afgeschermd.

Het afstoppen, ofwel diafragmeren, van lenzen in de beginjaren van de optische instrumentatie had als voornaamste resultaat dat de materiële tekortkomingen van de lens, de slijpfouten (waardoor de kromming van het lensoppervlak aan de rand van de lens verschilde van de kromming in het midden), werden afgeschermd. Gebeurde dit niet dan vertroebelden deze slijpfouten het beeld. De invloed van materiële fouten was, zeker in de beginjaren, vele malen groter dan de *theoretische* brekingsfouten door sferische aberratie – des te meer omdat lenzen toen aan een zeer lage numerieke apertuur werkten (lang brandpunt en kleine opening), waardoor de sferische aberratie minimaal was. Huddes bollensjes daarentegen boden – misschien wel voor het eerst – optiek van hoge kwaliteit met een hoge numerieke apertuur: een kort brandpunt en grote opening. Worden ze over hun volle diameter gebruikt dan primeert de sferische aberratie. Huddes bollensjes, bijgevolg,

41 Bollensjes hoefden niet persé méér te worden afgestopt dan dunne lenzen, ze lieten juist toe ze onder heel grote openingshoeken te gebruiken. Merk op dat de hoeveelheid sferische aberratie van een lens, bij constante brandpuntsafstand, in het kwadraat toeneemt met de opening.

42 Zie bijvoorbeeld Huygens, *Oeuvres* 6 (n. 5) nr. 205: Christiaan Huygens aan Constantijn Huygens, 6 april 1668: ‘maar ik vind niet dat het de objecten zo duidelijk weergeeft als de andere, welke kleine opening ik er ook aan geef.’ (‘mais je ne trouve pas qu’elles represente les objets distinctement comme les autres, avec quelque petite ouverture que je luy donne.’); Idem, *Oeuvres* 8 (n. 5) nr. 59: Nicolaas Hartsoeker aan Christiaan Huygens, 14 maart 1678: ‘In ’t insetten van de selve tusschen ’t klatergoud neem ik waer, dat men de openingh nae ’t object toe gemeenlijk niet grooter moet maken, als dat men ’t microscopium dicht tegen ’t ooggh onbeweeglijk aenhoude bequaemlijk alle de kanten van de openingh kan sien’; Aantekeningen microscopie Huygens (1678), in: Idem, *Oeuvres* 13 (n. 5) 678–679: ‘Der bolletjes opening nae ’t object moet omtrent sijn 1/5 van haer diameter: d’opening nae ’t ooggh omtrent een halve diameter, al wat dese grooter is als 1/5, dat en maeckt niet dat meer seffens gesien wordt. [...] d’openinghe sijnde als geseght is soo loopen al veel radij valsch van die uit een punctum objecti komen, en het verminderen van d’openingh nae ’t ooggh en kan dat niet helpen, maer wel van die naer ’t object.’

43 Rolf Willach, *The Long Route to the Invention of the Telescope* (Philadelphia 2008).

Hudde en zijn gesmolten microscoop lensjes

maakten (theoretische) sferische aberratie voor het eerst toegankelijk als *eenduidig bepaald fenomenologisch* gegeven. Concreet betekende dit dat de bollensjes zich uitstekend leenden om de invloed van lensopening op beeldscherpte na te gaan; ze gaven experimentele grip op het verschijnsel van sferische aberratie dat al die jaren in de eerste plaats een theoretische bekommernis was geweest.

Dat Hudde aan zijn bollensjes heeft zitten rekenen, valt niet hard te maken. Ware dit wel het geval dan hadden we ook meteen een directe link met de *Specilla* te pakken. Die is er simpelweg niet, in de *Specilla* wijdt Hudde niet meer dan één zin aan dubbelbolle lenzen: de berekening aan één oppervlak kan ook worden toegepast op de volledige lens – zo luidt het. De *strekking* van de *Specilla*, daarentegen, luidt dat sferische aberratie al snel geen probleem meer is wanneer de opening van de lens klein wordt gehouden. We kunnen dan ook niet anders dan benadrukken hoe toepasbaar deze gedachte uit *Specilla*, weliswaar onbedoeld, op Huddes latere bollensjes is gebleken.