
De *Science* cover in context

Een herpositionering van een redactioneel debat over
schoonheid en beeldmanipulatie in wetenschap

Student	Pim Verlaek (0221406)
Supervisor	Dr. Ann-Sophie Lehmann
Tweede lezer	Dr. Sarah de Rijcke
Masterscriptie	MA Nieuwe Media & Digitale Cultuur Universiteit Utrecht
Datum	Maart 2012

Dankwoord

Voor dit onderzoek ben ik Dr. Nico Sommerdijk van de Soft Matter CryoTEM Research Unit aan de Technische Universiteit Eindhoven zeer erkentelijk voor zijn tijd en openhartige interview. Hetzelfde geldt voor Frans Holthuysen van MiPlaza bij Philips Research te Eindhoven. Ook wil ik Dr. Ann-Sophie Lehmann bedanken voor haar eindeloze geduld en vertrouwen.

Inhoudsopgave

De *Science* cover in context

	Inleiding	4
1	Beelden in druk onder druk	5
	<i>1.1 Veranderende protocollen voor beeldgebruik in wetenschappelijke tijdschriften</i>	9
	<i>1.2 Een verkenning van editorials: Zeldzame beeldfraudegevallen versus het alomtegenwoordige opschonen van visualisaties</i>	13
	<i>1.3 De houding van tijdschriften geanalyseerd</i>	17
2	Het dilemma van schoonheid in wetenschap	24
	<i>2.1 Schoonheid als basis voor kennis</i>	25
	<i>2.2 Een milieu van mooie visualisaties</i>	32
3	Het maakproces in beeld	42
	<i>3.1 Een methodische focus op maakprocessen</i>	42
	<i>3.2 Werken in het beeld: Beeldconstructie in de Soft Matter CryoTEM Research Unit</i>	45
	<i>3.3 Beeldfuncties</i>	54
	Conclusie	59
	Literatuur	62

Inleiding

“There is a fine line between acceptable enhancements and scientific misconduct”
(Pearson 2005: 952).

Een recent artikel in het tijdschrift *Nature* schetst een tamelijk alarmerend beeld van beeldmanipulatie in wetenschappelijke tijdschriften (Gilbert 2009). Tijdens een conferentie over plagiaat van de Public Library of Science (PLOS), bleek dat het aantal valse en gemanipuleerde afbeeldingen in ingezonden artikelen twee jaar daarvoor explosief is gestegen. Deze resultaten kwamen uit een studie waarin Virginia Barbour, hoofdredactrice van de tijdschriften *PLoS Biology* en *PLoS Medicine*, bij alle ingezonden papers de bronafbeeldingen opvroeg om deze te vergelijken met de gemodificeerde afbeelding zoals bedoeld voor publicatie. Bij een aanzienlijk aantal ingezonden artikelen waren proteïnen gedupliceerd in Photoshop, of was ruis weggewerkt zonder deze handeling in de publicatie te vermelden. Handelingen die te beschouwen zijn als vervalsingen. Barbour geeft als verklaring voor dit toenemende probleem "a culture within universities that it is ok to fiddle with images" (Gilbert 2009). Daarnaast is software als Photoshop eenvoudig te gebruiken, nu alle afbeeldingen elektronisch verwerkt worden (Ibidem). Deze cultuur van vervalsing haakt in op cijfers van het in de Verenigde Staten gesitueerde Office of Research Integrity. Waar het aandeel van afbeeldingsfraude in de periode 1989-1990 5% van alle fraudegevallen bedroeg, was dit aantal in 2007-2008 gestegen naar 68% (Ibidem). Linda Miller, executive editor van *Nature*, beschrijft het verschijnsel als volgt: “people don't understand the line between beautification of an image and fraud” (Ibidem).

Precies dit vraagstuk over esthetisering van wetenschappelijke afbeeldingen is van belang om verder onder de loep te nemen. Niet in de laatste plaats omdat onder druk van deze toename in fraudegevallen nieuwe protocollen zijn ontstaan over het inzenden van afbeeldingen naar wetenschappelijke tijdschriften. Deze maatregelen gaan verder dan het opstellen van formele eisen over het vermelden van bijvoorbeeld Photoshop-filters. De fundamentele vraag is of wetenschappelijke afbeeldingen bewust mooier gemaakt mogen worden. *Nature* vindt van niet en pleit in een editorial voor ‘dirty images’: “In *Nature's* view, beautification is a form of misrepresentation. Slightly dirty images reflect the real world” (“Not Picture Perfect” 2006: 892). Bewuste esthetisering zou volgens *Nature* zuivere representaties van de wereld in de weg staan. Vanuit wetenschappelijke tijdschriften – met name celbiologische tijdschriften (“Beautification and Fraud” 2006; “Appreciating Data” 2006; Rossner en Yamada 2004; Pearson 2005) – lijkt de discussie te verschuiven richting een intolerantie van esthetisering in wetenschappelijke afbeeldingen. Het is echter de vraag in hoeverre deze krachttaal tegen iedere vorm van ingrijpen overeenkomt met de

wijze waarop in laboratoria met afbeeldingen wordt omgegaan. Bovendien zijn de covers van wetenschappelijke afbeeldingen nog altijd, en misschien wel meer dan ooit, voorzien van prachtige wetenschappelijke visualisaties. Hoewel editorials wijzen naar de beeldethiek van wetenschappers, lijken tijdschriften een belangrijke rol te spelen in uiterlijke verwachting van afbeeldingen. Om dit probleem in wetenschap verder uit te diepen is de centrale vraag van dit onderzoek welke rol beeldmanipulatie en esthetisering van elektronenmicroscopische beelden speelt in zowel de wetenschappelijke onderzoekspraktijk als de weg naar publicatie. Daarnaast richt het onderzoek zich op hoe die rol zich verhoudt tot het heersende hoofdredactionele discours over schoonheid en beeldmanipulatie in wetenschap.

Deze vraagstelling bevindt zich tegen een achtergrond van twee decennia onderzoek naar de rol van het visuele in wetenschap vanuit uiteenlopende interdisciplinaire onderzoeksgebieden. Zo is vanuit wetenschapssociologische hoek verkend welke rol representaties spelen in de constructie van wetenschappelijke kennis binnen laboratoria (onder andere in Lynch en Woolgar 1990; Amann en Knorr Cetina 1988; Latour 1986). De machtsrelaties die visualisaties en wetenschappelijke beelden en beeldinstrumenten met zich meebrengen zijn zowel vanuit historisch als etnografisch perspectief onderzocht (Rasmussen 1997; Fyfe en Law 1988). De realisatie dat woorden niet noodzakelijkerwijs meer epistemologische zekerheid geven dan afbeeldingen kreeg als reactie op de *linguistic turn* vrijwel gelijktijdig gestalte in de *iconic turn* (Boehm 1994) en de *pictorial turn* (Mitchell: 1994), die beide de weg vrijmaakten voor een nieuwe focus op het visuele in de geesteswetenschappen. Zo zijn de intersecties tussen kunst en wetenschap verkend op het snijvlak kunstgeschiedenis, wetenschapsfilosofie en wetenschapsgeschiedenis (Jones en Galison 1998; Latour en Weibel 2002; Tauber 1996). Uit dergelijke interdisciplinaire studies komt ook naar voren dat het vraagstuk naar beeldmanipulatie in wetenschap verre van nieuw is en teruggrijpt naar de beschuldigingen van Verlichte filosofen aan het adres van charlatans (Stafford 1998: 46). Wat we verstaan onder objectieve wetenschapsbeoefening is echter historisch aan verandering onderhevig (Daston en Galison 2007). Een belangrijk uitgangspunt voor het benaderen van beeldmanipulatie in wetenschappelijke afbeeldingen is de wijze waarop binnen Bildwissenschaft afbeeldingen als kennisobjecten worden beschouwd (Bredenkamp 2004; 2005; Hefßler en Mersch 2009). Die notie vormt een tegenwicht tegen de louter uiterlijke evaluatie van visualisaties in de genoemde wetenschappelijke tijdschriften. Naar verwachting mist die evaluatie voeling met het daadwerkelijke gebruik van visualisaties in de onderzoekspraktijk, waar het idee heerst dat beeldingrepen mogelijk noodzakelijk zijn om kennis te genereren. Recente studies waarin het begrip 'visuele geletterdheid' binnen academische beeldpraktijken onderzocht wordt, laten zien dat voor een kritische reflectie op visualisaties een objectbenadering te kort schiet (Pauwels 2006; 2008; Elkins 2007). In plaats daarvan zou een procesbenadering van publicatie, visuele praktijken en de context van beeldgebruik relevanter zijn om afbeeldingen te evalueren (Pauwels 2006: 21). Het is vanuit deze achtergrond dat het vraagstuk van schoonheid en beeldmanipulatie in wetenschappelijke publicaties wordt

onderzocht. De kern van het onderzoek is een analyse van zowel de onderzoekspraktijk als publicatiepraktijk van een specifieke coverstory in *Science*, te weten de publicatie "The Initial Stages of Template-Controlled CaCO₃ Formation Revealed by Cryo-TEM" van de Soft Matter CryoTEM Unit aan de Technische Universiteit Eindhoven die recent de cover van *Science* sierde (Pouget et al. 2009).

Benadering van de casestudy: de CryoTEM Soft Matter Research Unit

De Soft Matter CryoTEM Unit aan de Technische Universiteit Eindhoven kwam met hun onderzoek recentelijk regelmatig in mooie visualisaties op de covers van wetenschappelijke tijdschriften als *Science* (Pouget et al. 2009), maar ook kranten als het *NRC Handelsblad* (van Nieuwstadt 2010). De onderzoeksgroep houdt zich bezig met fundamenteel onderzoek naar materialen die zowel zachte als harde componenten hebben, zoals polymeren, nanocomposiet en biomedische materialen. En dan specifiek de structurele analyse van deze materialen en de fysisch-chemische karakterisering van deze oplossingen. Het is dus een combinatie van chemische analyse en structurele analyse van materiaaleigenschappen: "Using 3D and time resolved imaging in combination with structural and chemical characterization we can analyze such nano-structured materials in detail but also monitor their formation mechanisms" ("Objectives"). De groep onderzoekt deze beginstadia van de formatie van specifieke materialen met het oog op toekomstige reproductie van materiaaleigenschappen in synthetische chemische toepassingen.

Om te onderzoeken welke rol schoonheid en beeldmanipulatie spelen in de totstandkoming van visualisaties, wordt in dit onderzoek een methode gebruikt die literatuurstudie combineert met een interviews. De geïnterviewde, Dr. Nico A. J. M. Sommerdijk, is universitair hoofddocent op het leerstoelgebied Materials and Interface Chemistry aan de technische Universiteit Eindhoven en werkt onder andere als microscopist in de onderzoeksgroep. Het betreft een semigestructureerd interview, waarbij actief naar een open dialoog gezocht wordt. Zo ontstaat er ruimte voor onverwachte relevante input, die in de voorbereiding niet uitgetekend had kunnen worden. Die input gaf Dr. Nico Sommerdijk aan de hand van verschillende presentaties, publicaties, coverafbeeldingen en video's en had met name betrekking op de relatie tussen het gepubliceerd krijgen van een coverstory en de schoonheidseisen hiervoor vanuit tijdschriften.

Door in een specifieke publicatie van deze individuele onderzoeksgroep te bestuderen, worden aspecten van wetenschappelijke afbeeldingen in het onderzoek betrokken die niet direct blijken uit beeldanalyse. Zo komen de maakprocessen naar voren en worden technologische, stilistische, epistemologische en politieke aspecten van het onderzoeksproces in beeld gebracht. In deze informeel getinte gesprekken kwamen bovendien zaken aan bod die van controversiële aard zijn.

De opbouw is als volgt: In hoofdstuk 1 worden redactionele stukken van wetenschappelijke tijdschriften over het manipuleren van wetenschappelijke visualisaties geanalyseerd en gekoppeld

aan het publicatieproces van de *Science* coverstory van de casestudy. In hoofdstuk 2 wordt de rol van schoonheid in wetenschappelijke afbeeldingen verkend door de herkomst van stilistische keuzes bij de casestudy te analyseren. Het begrip schoonheid wordt enigszins gedemystificeerd door de herkomst van stilistische keuzes dichter bij de alledaagse beeldpraktijk te zoeken. In hoofdstuk 3 staat de totstandkoming van wetenschappelijke afbeeldingen in de casestudy centraal. Aan de hand van een technische verkenning van het gebruik van beeldinstrumenten wordt gekeken naar de functies van beeldingrepen op wetenschappelijke ontdekkingen. Specifiek de functies van beeldbewerking met softwarematige filters. Door de kennisgenererende functie van filters te bestuderen kan de frauduleuze bijklank van het begrip beeldmanipulatie genuanceerd worden.

1 Beelden in druk onder druk

“It’s all so easy with Photoshop” (Rossner en Yamada 2004: 11).

Het gebruik van digitale beeldtechnologieën in wetenschap is al enkele decennia alomtegenwoordig. Het gebruik van beeldbewerkingssoftware sinds het afgelopen decennium ook. Toch lijkt het erop dat een reeks van spraakmakende fraudegevallen door toonaangevende onderzoekers wetenschappelijke tijdschriften heeft gedwongen tot maatregelen ten aanzien van beeldmanipulatie. Recente voorbeelden zijn de inmiddels ontslagen immunoloog Luk van Parijs van het Massachusetts Institute of Technology (Couzin 2005: 758) en de veroordeelde Zuid-Koreaanse stamcelonderzoeker Hwang Woo Suk (Kennedy 2006: 335). Beide partijen pleegden onderzoeksfraude waarin beeldmanipulatie als middel voor bewijsvervalsing een belangrijke rol speelde. Dergelijke cases die in de mondiale pers breed uitgemeten werden hebben de al bestaande discussies in wetenschappelijke tijdschriften over fraude met digitale beelden verder aangewakkerd en tijdschriften gedwongen hun werkwijze bij de peer review van afbeeldingen aan te scherpen. De Hwang Woo Suk case was bijvoorbeeld de directe aanleiding voor Donald Kennedy, editor-in-chief van *Science*, het tijdschrift dat de vervalste afbeeldingen publiceerde – om een comit op te richten dat voor *Science* de reviewstructuur zou aanpassen (ibidem). De toename in het aantal gevallen van beeldfraude heeft dan ook direct gevolgen voor de wijze waarop tijdschriften omgaan met manuscripten en het redigeren van wetenschappelijke afbeeldingen. Dergelijke fraudegevallen tasten de geloofwaardigheid van tijdschriften aan, waardoor deze onder druk staan om zich tegen fraude te wapenen.

Dit hoofdstuk verkent de discussie over het gebruik van digitale afbeeldingen zoals deze in enkele toonaangevende wetenschappelijke tijdschriften gevoerd wordt. Aan de hand van gestelde maatregelen wordt bestudeerd wat tijdschriften onder beeldmanipulatie verstaan, en vooral wanneer het problematische beeldmanipulatie betreft. Hernieuwde richtlijnen van tijdschriften voor het gebruik van afbeeldingen geven hierover een indicatie. Echter, om ook grip te krijgen op de morele standpunten die tijdschriften willen uitdragen, zijn de editorials waardevolle onderzoeksbronnen. Deze geven een inkijk in wat tijdschriften toelaatbaar achten in het spanningsveld tussen beeldmanipulatie, esthetisering van resultaten en ontoelaatbare beeldfraude.

1.1 Veranderende protocollen voor beeldgebruik in wetenschappelijke tijdschriften

"So far, the threat is entirely hypothetical; there have been no known cases of deceptively doctored digital images in the scientific literature" (Anderson 1994: 317).

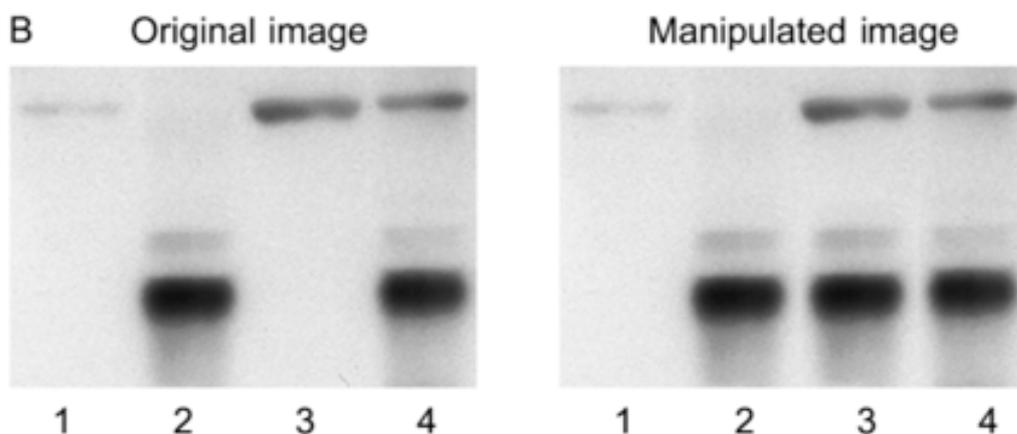
Dit citaat, afkomstig uit redactioneel commentaar in *Science*, maakt duidelijk dat in een tijdspanne van tien jaar digitale beeldfraude in wetenschappelijke publicaties van een hypothetisch gevaar is getransformeerd tot een alledaags probleem in de wetenschap. Christopher Anderson, die in 2001 hoofdredacteur van *Wired* zou worden, liet in dit artikel uit 1994 al zeer helder de potentiële dilemma's van digitale beeldmanipulatie in wetenschappelijke publicaties zien. Zo benadrukte hij dat er strikte richtlijnen geformuleerd moesten worden voor het gebruik van digitale afbeeldingen in wetenschappelijke tijdschriften. Het is bijna pijnlijk om te zien dat de problemen die verschillende wetenschappers en redacteuren van wetenschappelijke tijdschriften al in 1994 voorzagen, pas tien jaar later onder invloed van mediagenieke fraudezaken in beleid zijn omgezet. En dat terwijl ook toen al duidelijk was dat de "agreement about solutions - or about the severity of the threat - has been slower in coming" (ibidem). Op Andersons moment van schrijven hadden *Nature Genetics* en *Nature Structural Biology* de eis dat auteurs de software en hardware vermeldden die werd gebruikt tijdens het maken van afbeeldingen, maar dat waren uitzonderingen. De overgrote meerderheid van de andere tijdschriften, waaronder *Science* en *Cell* worstelden toen nog met het formuleren van protocollen.

Wat opvalt in de discussie in 1994 is de aanwezige twijfel over de vraag of de toegenomen mogelijkheden voor digitale manipulatie in wetenschap per se voor meer problemen zorgen. Zo stelt Steven Erde, director academic computing aan de Cornell Medical School: "everybody crops and cleans up analog images [photographs] and nobody gets bent out of shape. Should you hold digital images to a higher standard?" (Anderson: 317). Paul Anderson, redacteur van *Journal of Histochemistry and Cytochemistry* betwijfelt ook of hierdoor meer problemen ontstaan: "some say it's a departure from truth and that's wrong (...) others say, why not make it easier to read?" (ibidem).

Ondanks de twijfel was er geen gebrek aan oplossingen in de discussie. Zo werd toen nagedacht over een systeem voor digitale camera's dat ruwe afbeeldingen van een watermerk voorzag, zodat deze te allen tijde teruggebracht kunnen worden (Taubes 1994: 317). Dit debat ten spijt bleven concrete manuscriptrichtlijnen nog enkele jaren uit in het veld. In de later geformuleerde richtlijnen die in de volgende sectie besproken worden lijkt de twijfel over de toelaatbaarheid van manipulatie middels protocollen te zijn beantwoord.

Nieuwe richtlijnen in een nieuw decennium

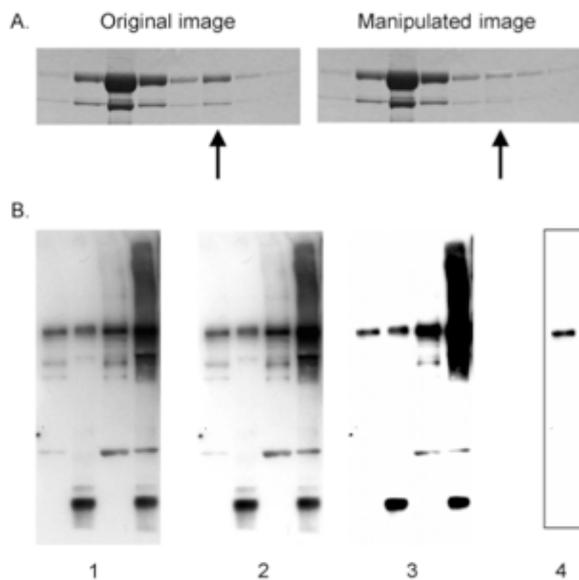
Journal of Cell Biology liep het afgelopen decennium voorop in het ontwikkelen van richtlijnen over het behandelen van digitale afbeeldingen. Mike Rossner, managing editor van *Journal of Cell Biology*, heeft vanaf 2002 bestaande richtlijnen voor het gebruik digitale afbeeldingen in wetenschappelijke tijdschriften in twijfel getrokken (Rossner 2002; Rossner en Yamada 2004). In deze editorials wordt onderzocht welke modificaties als frauduleus te typeren zijn en welke richtlijnen bij tijdschriften nodig zijn om beeldfraude tegen te gaan. Die herdefiniëring is noodzakelijk, omdat digitale beeldbewerking ons voor nieuwe verleidingen stelt: “In the days before imaging software became so widely available, making adjustments to image data in the darkroom required considerable effort and/or expertise. It is now very simple, and thus tempting, to adjust or modify digital image files” (Rossner en Yamada 2004: 11). Als Rossner en Yamada spreken van grove aanpassingen doelen zij bijvoorbeeld op het dupliceren of retoucheren van DNA striemen zoals op figuur 1 te zien is.



Figuur 1 In de afbeelding is een DNA streng gekopieerd met een ‘cloning tool’ in Photoshop. Dit wordt als grove ontoelaatbare fabricage gezien (Rossner en Yamada 2004: 12).

Bij grove ingrepen is het misschien overduidelijk, maar ook met subtiele softwarematige ingrepen in de afbeelding kunnen andere onderzoeksuitkomsten worden gesuggereerd, zoals Rossner en Yamada laten zien. Als voorbeelden geven zij het aanpassen van het contrast in slechts een deel van de afbeelding, het aanpassen van de helderheid en het opschonen van de achtergrond.

Wanneer het contrast groot wordt gemaakt kunnen zoals in figuur 2 te zien is bepaalde data wegvallen. Hierdoor kan ook de betekenis van de data veranderen.



Figuur 2 Het aanpassen van het contrast kan soms tot gevolg hebben dat waardevolle informatie wegvalt in de afbeelding. Dit is een subtiele vorm van beeldmanipulatie (Rossner en Yamada 2004: 13).

Journal of Cell Biology besteedt in hun publicatierichtlijnen expliciet aandacht aan beeldmanipulatie. Onder andere door aan te geven dat alle digitale afbeeldingen uit manuscripten door een productiedepartement geanalyseerd worden op factoren die op manipulatie wijzen. De richtlijnen voor wijzigingen in te publiceren afbeelding zijn vrij specifiek:

- No specific feature within an image may be enhanced, obscured, moved, removed, or introduced.
- The grouping of images from different parts of the same gel, or from different gels, fields, or exposures must be made explicit by the arrangement of the figure (i.e., using dividing lines) and in the text of the figure legend. If dividing lines are not included, they will be added by our production department, and this may result in production delays.
- Adjustments of brightness, contrast, or color balance are acceptable if they are applied to every pixel in the image and as long as they do not obscure, eliminate, or misrepresent any information present in the original, including backgrounds. Non-linear adjustments (e.g., changes to gamma settings) must be disclosed in the figure legend” (“Instructions for Authors” 2010).

Naast deze richtlijnen voor beeldaanpassingen vraagt *Journal for Cell Biology* ook gedetailleerde informatie over de microscoop en de wijze waarop microscopische beelden zijn vastgelegd. Het model en type microscoop, de vergroting, diafragma-instellingen, de gebruikte objectieven, de temperatuur, eventuele fluorescerende stoffen, het cameramodel en de software waarmee de afbeeldingen verkregen worden (ibid). Ruwe data, de onbewerkte afbeeldingen, kunnen door de redactie zowel voor als na publicatie opgevraagd worden. Deze richtlijnen komen redelijk overeen met bijvoorbeeld de richtlijnen van *Nature* (“Image Integrity” 2011), die ook uitgebreid ingaan op de het verantwoord gebruikmaken van beeldbewerking. Ondanks deze richtlijnen die specifiek ingaan op wat wel en niet toelaatbaar is, verschillen de richtlijnen tussen tijdschriften onderling nog aanzienlijk.

Kwaliteit van richtlijnen loopt sterk uiteen

Dat veel wetenschappelijke tijdschriften een stuk makkelijker zijn dan *Nature* of *JCB* als het gaat om de richtlijnen voor het gebruik van digitale afbeeldingen blijkt uit een onderzoek in *Ensuring the Integrity, Accesibility and Stewardship of Research Data in the Digital Age*, een uitgave van het Committee on Ensuring the Utility and Integrity of Research Data in a Digital Age en de National Academy of Sciences. Dit onderzoek is deels in het leven geroepen naar aanleiding van een brief van Ralph Cicerone, president van de National Academy of Sciences (Committee on Ensuring the Utility and Integrity of Research Data in a Digital Age 2009: ix). Hierin benadrukt hij hoezeer ongepaste manipulatie van digitale afbeeldingen een groeiend probleem is voor redacteuren en uitgevers. Het doel van het onderzoek is “to explore the evolving roles and responsibilities of researchers, research institutions, research sponsors, journals, publishers, and others in generating, analyzing, disseminating, and preserving research data” (xi). Hun verkenning van bestaande richtlijnen voor het gebruik van digitale afbeeldingen bij verschillende wetenschappelijke tijdschriften laat opmerkelijke verschillen zien. *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*, *Journal of Cell Biology (JCB)*, *Nature* en *Science* hebben gedetailleerde richtlijnen die erop gericht zijn problemen over data-integriteit te voorkomen. Bijvoorbeeld door software te gebruiken die manipulatie detecteert, een ethisch statement op hun site te plaatsen, ruwe data op te slaan, door te eisen dat manipulatie vermeld wordt en dat een digitale aanpassing op de gehele afbeelding wordt toegepast (38-39). Andere tijdschriften zoals *Institute of Electrical and Electronics Engineers journals (IEEE)*, stellen niet dat beeldmanipulatie vermeld moet worden. Bij het *New England Journal of Medicine (NEJM)* kan de redactie als enige tijdschrift in hun onderzoek de ruwe data niet bij de auteur opvragen. Een opmerkelijk resultaat in hun overzicht van tijdschrift-richtlijnen is overigens dat geen enkel tijdschrift “image manipulation” verbiedt (38-39).

De richtlijnen verschillen dus aanzienlijk per tijdschrift, hoewel er veel gemene delers te signaleren zijn. E n daarvan is de veel voorkomende richtlijn van redacties om een filter of digitale

beeldaanpassing niet slechts in delen van de afbeelding toe te passen, maar over de gehele afbeelding. Het idee hierachter is dat bijvoorbeeld niet een ongewenst aspect op de afbeelding verdoezeld kan worden. Dit specifieke punt wordt echter door microbiologen H. Prasad et al. in twijfel getrokken (Prasad et al. 2011). Zij hebben onderzocht of deze richtlijn wenselijk is in pathologie. Uit hun onderzoek bleek dat ook wanneer binnen de richtlijnen beeldaanpassingen gedaan worden, deze soms problematisch kunnen uitpakken voor de interpretatie van afbeeldingen door specialisten. Vanuit die resultaten bekritisieren zij de vaak te algemene richtlijnen van tijdschriften. Dat is volgens *Science* redacteur Jocelyn Kaiser ook de gedeelde kritiek op het National Academy of Sciences rapport vanuit de wetenschappelijke gemeenschap: “there are no detailed guidelines” (Kaiser 2009: 318). Ter aanvulling op mogelijk onduidelijke richtlijnen publiceren tijdschriften geregeld ook hun morele standpunten over het aanpassen van afbeeldingen in editorials. Zo verwijst *Nature* op hun website naar een zevental essays die het tijdschrift eerder publiceerde over dit onderwerp (“Image Integrity” 2011). De editorials dienen dan ook nader bestudeerd te worden als aanvulling op richtlijnen om grip te krijgen op wat als toelaatbaar en ontoelaatbaar beschouwd kan worden.

1.2 Een verkenning van editorials: Zeldzame beeldfraudegevallen versus het alomtegenwoordige opschonen van visualisaties

“We’re just fortunate that most students and postdocs are not that good in Photoshop yet” (Pearson 2004: 953).

De bovengenoemde richtlijnen hebben hun huidige vorm gedeeltelijk te danken aan opiniërende en hoofdredactionele artikelen over afbeeldingen in wetenschappelijke tijdschriften die vertaald zijn naar beleid. In de manuscriptrichtlijnen van *JCB* en *Nature* wordt direct gelinkt naar verschillende hoofdredactionele artikelen uit het eigen tijdschrift waarin het standpunt over correct beeld- en/of datagebruik uiteengezet wordt.¹ Een analyse van deze editorials laat zien hoe tijdschriften worstelen met de vraag wanneer manipulatie onacceptabel wordt en wat de oorzaken zijn van deze klaarblijkelijke toename in ontoelaatbare beeldbewerking. Alvorens in te gaan op

¹*JCB* verwijst op hun website bij de manuscriptrichtlijnen naar de eerder verschenen editorials “The *JCB* Will Let your Data Shine in RGB” (Rossner en O’Donnell 2004) en “What’s in a Picture? The Temptation of Image Manipulation” (Rossner en Yamada 2004) (“Instructions for Authors” 2010).

verschillende gradaties van onethische beeldbewerking is een verkenning van de houding ten opzichte van digitale afbeeldingen en het gebruik van Photoshop relevant.

De discussie over beeldbewerking verzandt snel in wantrouwen jegens digitale afbeeldingen vanwege het gemak waarmee deze softwarematig gemanipuleerd kunnen worden. Desalniettemin lijkt een editorial van *JCB* uit 2002 - negen maanden nadat *JCB* aanving met het elektronisch indienen van manuscripten - dit nog niet als voornaamste probleem te zien: "Our concern is not that the manipulation of digital images is happening with greater frequency, but that there is the potential for it to be detected less frequently by our reviewers" (Rossner 2002: 1151). Rossner doelde hier specifiek op de neiging van reviewers om manuscripten uit te printen, waardoor digitale afbeeldingen minder goed bestudeerd kunnen worden dan in het tijdperk van afgedrukte foto's. Immers, de resolutie van de geprinte afbeelding maakt dat details minder goed zichtbaar zijn dan bij foto's.

Deze houding was echter ook voor *JCB* van korte duur getuige de veelzeggende eerste zin van Rossner en Kenneth Yamada's artikel twee jaar later: "It's all so easy with Photoshop" (Rossner en Yamada 2004: 11). In dit artikel, waar *JCB* overigens ook naar verwijst in hun richtlijnen voor manuscripten ("Instructions for Authors" 2010), benadrukken Rossner en Yamada de verleiding tot het modificeren van onderzoeksafbeeldingen die voortkomt uit het gemak waarmee de wijzigingen tegenwoordig aangebracht kunnen worden. Ondanks deze houding waarin Photoshop gezien wordt als een van de oorzaken waardoor beelden op frauduleuze wijze bewerkt worden, beschrijft een andere editorial van *JCB* hoe Photoshop de voorkeurssoftware van onderzoekers is om de beeldresolutie van hun oorspronkelijke data te waarborgen: "the only way to properly ensure the integrity of the resolution of your original image is to open it in Photoshop at the size and resolution at which it was acquired" (Rossner en O'Donnell 2004: 12). Photoshop wordt dus tegelijk gezien als noodzakelijke tool voor onderzoek, en als softwareprogramma dat potentieel problematisch is voor de integriteit van onderzoek. Richtlijnen die stellen dat bepaalde software-ingrepen in de afbeelding ontoelaatbaar zijn zorgen blijkbaar onvoldoende voor een daling in het aantal problematische beeldaanpassingen. De editorials geven inzicht in de verwarring en onwetendheid van auteurs en onderzoeksgroepen.

Problematische beeldaanpassingen door onwetendheid en publicatiedruk

De grote vraag is wanneer beeldmanipulatie problematisch is. Ook hier zijn editorials van waarde als onderzoeksobject. Hierin worden definities van beeldmanipulatie gegeven en analyses gemaakt over de oorzaken van dit toegenomen probleem. Frauduleuze wetenschapsbeoefening definiëren Rossner en Yamada als volgt: "research misconduct is defined as fabrication, falsification, or plagiarism in proposing, performing, or reviewing research, or in reporting research

results” (Rossner en Yamada 2004:11). Dit is volgens hen bijvoorbeeld het geval wanneer onderzoekers afbeeldingen gebruiken “in which part of the image was either selectively altered or reconstructed to show something that did not exist originally” (ibidem). Met problematische beeldmanipulatie wordt dus in de definitie van *JCB* bedoeld op het moedwillig misleiden van lezers door een bewuste misrepresentatie te maken van onderzoeksresultaten.

Het is echter de vraag of onderzoekers zich wel bewust zijn van hun misrepresentaties. Die overtreding is immers eenvoudig gemaakt. De grenzen van toelaatbaarheid zijn daarom een complex vraagstuk. Ondanks een redelijke consensus onder tijdschriften over wat absoluut ontoelaatbare beeldmanipulatie is, is dit in sommige vakgebieden volgens *Science*-redacteur Jennifer Couzin een schimmiger vraagstuk (Couzin 2006: 1867). Zo wordt het binnen astronomie als legitiem beschouwd om afbeeldingen te bewerken zodat zaken zichtbaar worden die met het blote oog niet te zien zijn. Kathleen Case, uitgever bij de American Association for Cancer Research, stelt daarom “the big issue is whether such manipulation, which is done to enhance an image, actually changes its meaning” (ibidem). Een dergelijk variërende maatstaf onder verschillende wetenschapstakken maakt de verwarring bij onderzoekers niet kleiner. Integendeel, beargumenteert Case: “most authors don’t feel this is particularly wrong; they’re just trying to make the illustration look better” (Ibid.). Verwarring over de toelaatbaarheid van beeldaanpassingen is dus een belangrijke factor in dit vraagstuk.

Nature Cell Biology zoekt in een andere richting naar verklaringen voor de toegenomen beeldfraude gevallen, namelijk in de publicatiedruk bij onderzoekers in het hedendaagse wetenschappelijke klimaat. “The old adage of ‘publish or perish’ is ever more pertinent and it is not surprising that sloppiness, plagiarism and even fraud rear their ugly heads” (“Beautification and Fraud” 2006: 101). Helen Pearson van *Science* onderstreept deze toegenomen druk en gaat verder door te stellen dat de druk om mooie afbeeldingen te publiceren ook van de tijdschriften uit gegeneerd wordt: “scientists say that they feel under pressure to produce faultless images to present convincing experiments that reviewers and editors want to publish” (Pearson 2004: 953). De voornaamste groep onderzoekers waarbij dit een probleem is zijn volgens Pearson jonge onderzoekers: “Scientists and journal editors say that most questionable image manipulation can be traced to inexperienced students or lab staff who are unclear about what is allowable” (ibidem). Jennifer Couzin suggereert dat gebreken in het huidige onderwijs ten grondslag liggen aan deze houding: “students really aren’t being told what’s right or wrong, what’s acceptable or not. We’re just assuming that they know” (Couzin 2006: 1868). Er wordt dus bij een jonge generatie onderzoekers een grote onwetendheid gesignaleerd over wat toelaatbaar is.

Die onwetendheid van jonge onderzoekers wordt problematisch op het moment dat ervaren stafleden van onderzoeksgroepen het bewerken van afbeeldingen overlaten aan junioren, louter omdat deze handiger zouden zijn met digitale nabewerking. Die kloof constateert Couzin namelijk: “Regardless of the policies instituted by journals, it’s widely agreed that a generational disconnect has left students agile at handling digital images while many older lab leaders shy away from it,

presuming that their students understand the rules” (Ibidem). En deze regels zijn voor de nieuwe generatie problematisch, omdat het onderwerp beeldethiek vaak onvoldoende deel uitmaakt van het curriculum van studenten. De geïnterviewde microscopist Nico Sommerdijk stelt hierover dat er een groot verschil is tussen hoe hij in onderwijs en in de werkomgeving van zijn onderzoeksgroep omgaat met ontoelaatbare beeldbewerking:

N.S.:

“In mijn groep ben ik daar heel precies en streng in. Bij studenten waar ik college geef is dit minder aan de hand. Dan ben ik allang blij als ik de technische en wetenschappelijke ondergrond kan overbrengen. Daar besteed ik dus minder tijd aan dan dat ik doe in onderzoeksomgevingen. Het wordt naar mijn idee pas een issue op het moment dat het onderzoek gepubliceerd gaat worden.

P.V.:

Zou dat niet meer moeten gebeuren?

N.S.:

Wat je zegt is wel goed, dat zou meer kunnen gebeuren” (Sommerdijk 2010).

Als een dergelijke houding representatief is voor andere onderzoeksgroepen, dan is de combinatie van junioronderzoekers die de beeldbewerking voor zich nemen met tegelijkertijd onvoldoende kennis van de toelaatbaarheid van beeldaanpassingen een recept voor problemen in publicaties. Het punt is echter dat beeldfraude op zich een minder voorkomend probleem is dan dat op basis van het bovenstaande debat te verwachten zou zijn. De verleiding om kleine esthetische ingrepen te doen in ruizige visualisaties lijkt dan ook een groter probleem dan de moedwillige beeldfraude.

Vorbij de beeldfraude: esthetisering als frequenter voorkomend probleem

Het overgrote deel van de ontoelaatbare beeldmanipulaties zijn niet de zware fraudegevallen die de discussie over nieuwe protocollen in eerste instantie hebben ontketend. Zo beschrijft *Nature Cell Biology* als meest voorkomende vormen van misrepresentatie de neiging van onderzoekers om niet zozeer moedwillig te frauderen, maar de onderzoeksresultaten aan te dikken door het presenteren van “clearcut, selected or simplified data,” een benadering die de editors als “data beautification” aanduiden (“Beautification and Fraud” 2006: 101). *Beautification*, dat in ik het onderstaande vrij vertaal naar ‘esthetisering’, definieert *Nature* als “the digital manipulation of properly acquired data for the purpose of making a figure clearer, more perfect and more consistent with the best images yielded in such experiments” (ibidem). Deze esthetisering komt vaker voor dan beeldfraude. Fraudezaken zijn uiterst zeldzaam. Veelzeggende titels als “Not Picture-Perfect” (“Not Picture-

Perfect” 2006) en “Appreciating Data: Warts, Wrinkles and All” (“Appreciating Data” 2006) laten zien dat tijdschriften artikelen prefereren waarin afbeeldingen niet perfect zijn, maar juist imperfecties bevatten. *Nature Cell Biology* onderstreept en weerlegt een misverstand dat onder onderzoekers heerst, namelijk dat perfecte wetenschappelijke visualisaties een voorwaarde zijn om te kunnen publiceren: “There is a myth that editors only like clean data that show striking effects. What we actually like is solid data that provides striking conceptual advances” (“Appreciating Data” 2006: 203). Ook *Nature* laat over die voorkeur geen misverstand ontstaan, door een duidelijk ethisch standpunt ten aanzien van esthetisering in te nemen: “Beautification is a form of misrepresentation. Slightly dirty images reflect the real world” (Not Picture-Perfect” 2006: 892). Met daaraan toevoegend “Let’s all get a little bit more real” (ibidem). De gedachte die hier vanuit lijkt te gaan is dat afbeeldingen die minder mooi ogen realistischer zijn dan visualisaties die gepolijst zijn: “We want to publish gritty documentary movies, not digitally beautified yarns!” (“Appreciating Data” 2006: 203).

Om de analogie met film aan te houden, binnen de studie naar animatiefilms bevindt zich een interessante tegenstelling. Zo signaleerde mediawetenschapper Lev Manovich in zijn *The Language of New Media* de paradox dat in het streven naar fotorealistische animaties middels computer generated imagery (CGI) synthetische beelden inferieur blijven aan echte foto’s. Deze beelden zijn volgens hem “too perfect” en daarmee ook paradoxaal genoeg “too real” om als realistisch te worden waargenomen (Manovich 2001: 202). Gevolg is dat op CGI bepaalde algoritmes worden losgelaten die ruis veroorzaken om het realistischer te laten voelen en zo het filmpubliek een immersieve ervaring mee te geven. Imperfectie wordt op dat moment als stijlmiddel ingezet om een realistisch effect te bewerkstelligen. In film vergroot een dergelijke stilistische ingreep de filmische illusie. Wanneer *Nature Cell Biology* “gritty documentary movies” wenst, vraagt dat om een verandering van het uiterlijk van wetenschappelijke visualisaties die dichter bij de werkelijk zou liggen. Die zogenaamde afwezigheid van stijl is echter ook als stilistische eigenschap te zien is.

1.3 De houding van tijdschriften geanalyseerd

Objectiviteit en de wetenschappelijke non-stijl als stijl

In de voorgaande sectie werd al kort geraakt aan het onderwerp stijl in wetenschappelijke afbeeldingen. Het begrip ‘stijl’ in wetenschappelijke context is controversieel, zo benadrukt ook kunsthistoricus Martin Kemp in *Visualizations: The Nature Book of Art and Science*, een bundel essays over de wisselwerking tussen kunst en wetenschap die hij in opdracht van *Nature* schreef (Kemp 2000). Hoewel in de bundel wel gesproken wordt over ‘elegante experimenten’ en ‘mooi bewijs’, is volgens Kemp vooral de afwezigheid van stijl in wetenschap voorwaarde voor een “rhetoric of

absolute objectivity” (Kemp 2000: 3). Hij ontkracht deze aanname dat stijl afwezig is in wetenschap: “In reality, there are always choices in design and presentation - choices greatly extended by computer graphics - even if the chosen style is automatic and unconscious” (ibidem: 4). Ook het visuele karakter van de moderne wetenschap, waarbij alle ornamenten en franje verwijderd worden uit de afbeelding, noemt Kemp “non-style.” Wanneer redacteurs van wetenschappelijke tijdschriften vragen om “dirty images,” wordt in deze lijn van denken eigenlijk gevraagd om een stilistische verandering in het ontwerpen van visualisaties. Om met reclamejargon te spreken: er wordt van onderzoekers een *rebrand* van hun visuele stijl in een gritty documentary-stijl verwacht om niet verdacht te worden van frauduleuze ingrepen. Deze nieuw aan te nemen beeldstijl moet de illusie wekken dat er geen stilistische keuzes zijn gemaakt. Het is de vraag in hoeverre die opvatting over de afwezigheid van de hand van de onderzoeker strookt met de rol die visualisaties in de alledaagse wetenschappelijke praktijk innemen.

Deze door Kemp getypeerde ‘non-stijl’ in wetenschappelijke afbeeldingen, die dus ook in bovenstaande editorials gepropageerd wordt, lijkt het idee in zich te dragen dat iedere notie van de beeldmaker in wetenschappelijke visualisaties onzichtbaar dient te zijn. In de wetenschapsgeschiedenis zijn noties van objectiviteit in wetenschappelijke visualisaties aan verandering onderhevig. Wetenschapsfilosofen Lorraine Daston en Peter Galison hebben dit in hun omvangrijke studie *Objectivity* zichtbaar gemaakt (Daston en Galison 2007). Zij laten daarin zien dat met de intrede van nieuwe visualisatietechnologieën noties van objectiviteit veranderden. Objectiviteit definiëren zij als “the suppression of some aspect of the self, the countering of subjectivity” (ibidem: 36). Verschillende wetenschappelijke beeldinstrumenten vragen elk om een andere positie van onderzoekers ten aanzien van het onderdrukken van zijn of haar subjectieve inbreng in het creëren van visualisaties. De logica die in de editorials gepropageerd wordt is de afwezigheid van iedere interventie van de onderzoeker in de visualisatie. Daston en Galison typeren een dergelijke notie van objectiviteit als “mechanical objectivity.” Deze notie van objectiviteit die opkwam in de negentiende eeuw beriep zich op de mechanische causaliteit van technologieën als fotografie en microscopie. Echter, de beeldtechnologieën die vandaag de dag gebruikt worden vergen meer beoordelingsvermogen van onderzoekers. Bovendien is er geen direct causaal mechanisch verband tussen de te onderzoeken sample en het beeld dat is geproduceerd door beeldinstrumenten als de elektronenmicroscop of de cryoTEM technologie van de onderzoekscase. Zoals Peter Galison in een ander artikel betoogt is er in de twintigste eeuw vraag naar de interpretatie van beelden door onderzoekers: “Only through individual, subjective, creative judgement could pictures transcend the silent obscurity of their raw form” (Galison 1998: 345). De vorm van objectiviteit die hieruit voortkomt noemen Daston en Galison “trained judgement” waarin “the real emerged from judgement” (Galison: 349). Aanpassingen aan het beeld hebben in deze visie een andere functie dan zoals in editorials wordt beschreven: “manipulated to build on the natural, but to bring out features through understanding, the twentieth-century image embodies

professional experience; it is the pictorial presentation of the trained eye” (349). Een visualisatie gemaakt met hedendaagse beeldtechnologie zou in dit denkkader niet beschouwd moeten worden als directe representatie van de sample, maar eerder als een weergave van een wetenschappelijke interpretatie van de sample.

Met andere woorden, de door de expert geïnterpreteerde en mogelijk bewerkte visualisatie laat een werkelijkheid zien die anders niet zichtbaar is voor het lekenoog. Bovendien hoeft manipulatie objectiviteit niet in de weg te staan. Dit staat haaks op de visie van de besproken tijdschriften. Hun focus op onbewerkte visualisaties die dichter bij de werkelijkheid zouden staan lijkt gefundeerd op een onterecht vertrouwen in de mechanische causaliteit van beeldtechnologie waarin iedere aanpassing van onderzoekers zou afdoen aan de objectiviteit van het beeld. Deze moeilijk te verenigen tegenspraak vraagt om een heroverweging van de rol van beeldbewerking in de wetenschappelijke praktijk.

Meer dan alleen mooier: filters als onderzoekstool

In de bestudeerde editorials wordt het gebruik van beeldbewerkssoftware als noodzakelijk kwaad en een verwerpelijke handeling beschreven. Vanuit de onderzoekspraktijk komen echter ook andere geluiden naar voren over de rol van dit soort software in onderzoek. Etnomethodoloog Michael Lynch benadrukt naar aanleiding van zijn etnografisch getinte casestudy naar de onderzoekspraktijk van astronomische visualisaties dat ruwe data niet noodzakelijkerwijs realistischer zijn dan bewerkte visualisaties:

“The data frame [or “raw data”] is not treated as a pristine reflection of “reality” but as the residue from a confused field where electronic noise, detector defects, ambient radiation, and cloudy skies mingle indiscriminately with the signal from a source object. The processed image is often considered the more accurate and “natural” rendering” (Lynch 1991: 70).

Dit citaat laat zien dat het bewerken van ruwe data in de onderzoekspraktijk niet alleen dient voor het opschonen, maar ook voor het begrijpbaar maken van ruwe data. Een dergelijke analysefunctie van beeldbewerking komt nauwelijks naar voren in de editorials. Daar wordt louter gefocust op manipulatie en cosmetische ingrepen met filters. Beeldbewerkingssoftware wordt eenzijdig gepresenteerd als manipulatief middel. In plaats daarvan moet onderzocht worden op welke manier filters beschouwd kunnen worden als kennismiddel. De rol van filters en beeldbewerking in het onderzoeksproces verder uitgediept aan de hand van de casestudy in hoofdstuk 3.

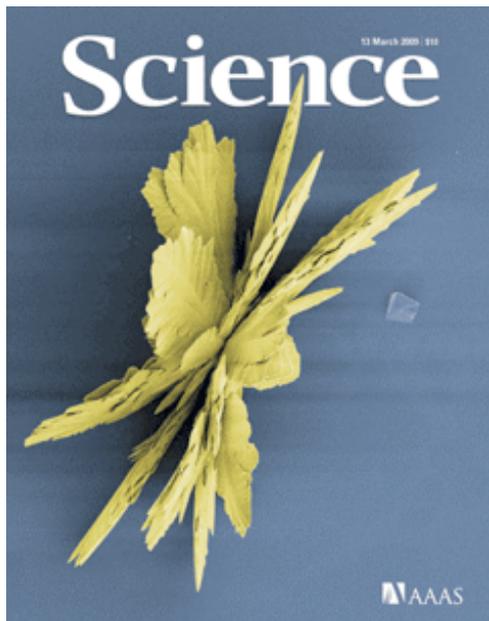
Beeldfraude ≠ Photoshop

Het gebruik van beeldbewerkingssoftware hoeft zoals de vorige sectie liet zien niet alleen problematisch te zijn, maar kan ook een belangrijke rol vervullen in het onderzoeksproces. Desondanks ligt de focus van tijdschriften op beeldfraude die onder invloed van software als Photoshop zou zijn toegenomen. Ruwe data wordt in de editorials gezien als waarheidsgetrouw. In een ingezonden brief naar *Nature* in reactie op het artikel “CSI: Cell Biology” hekelt bioloog Jeremy Adler de unilaterale focus van de discussie over beeldfraude en het opschonen van afbeeldingen op digitale nabewerking (Adler 2005). Zijn stelling is dat ook in het maakproces van die “ruwe” data beeldingrepen kunnen plaatsvinden die onacceptabel zijn doordat essentiële delen van een sample door bepaalde instellingen in het beeldinstrument weggelaten kunnen worden in de ruwe afbeelding: “Although attempting to curtail illegitimate manipulation of digital images is very important, it is also relevant to consider the veracity of raw images” (Adler 2005: 736). Ook ruwe data zijn gemedieerd, en ruwe data zijn niet per definitie waarachtiger dan visualisaties waarin sprake is van nabewerking. Anders gesteld, beeldfraude kan niet alleen aan Photoshop toegeschreven worden.

De paradoxale houding van *Science* ten aanzien van schoonheid in coverafbeeldingen

De bovenstaande verkenning van editorials laat zien hoe deze een visuele taal in wetenschappelijke visualisaties propageren die gericht is op “dirty images” in plaats van “pretty pictures.” Wanneer het om de coverafbeeldingen van deze tijdschriften gaat lijkt dit echter niet van toepassing. Covers zijn bij wetenschappelijke tijdschriften in de regel kleurrijk en aansprekend. In het onderstaande wordt aan de hand van interviewfragmenten van de casestudy, een groep die de cover van *Science* haalde, het redactieproces van de publicatie in kaart gebracht, om zo de discrepantie tussen protocol en praktijk bij *Science* te laten zien. Wanneer het om coverafbeeldingen gaat, lijken namelijk niet dezelfde eisen te gelden als bij reguliere afbeeldingen die ter illustratie in artikelen worden gebruikt. Zo geeft *Science* als antwoord op de veelgestelde vraag “Can I submit an image for consideration as the cover of *Science*?” het volgende antwoord: “Images from significant papers that are striking to the nonspecialist have the best chance of being chosen” (“The *Science* Contributors FAQ” 2010). Ook al is een onderzoek baanbrekend, het maakt pas kans op een coverstory indien het onderzoek gepaard gaat met een visualisatie die ook een algemeen publiek kan bekoren.

In het interview met de casestudy komen feiten over het publicatieproces bij *Science* naar voren die in tegenspraak zijn met de standpunten die *Science* uitdraagt in de bovenstaande editorials. De cover is in figuur 3 te zien. Over de totstandkoming van deze cover stelt Sommerdijk het volgende:



Figuur 3 De *Science* cover van de casestudy ("About the Cover" 2009).

N.S.:

"Dit is een interessant experiment, want dit kristal hebben we speciaal laten groeien voor de frontcover. Dit heeft eigenlijk niet zoveel te maken met het onderzoek van ons dat verderop in *Science* staat. Die anekdote loopt als volgt: *Science* stelde voor mijn plaat op de voorkant te publiceren. Ze stuurden een traditioneel kristal op, dat wit was en tegen een zwarte achtergrond stond. Ik vond echter dat bij het zien van die afbeelding niet direct een visuele link ontstond met mijn eigen onderzoek verderop in het tijdschrift. Dus ik vond de cover in die hoedanigheid slechte reclame voor mijn werk. Ik wilde hen echter niet voor het hoofd stoten, het is altijd beter om op de cover te komen dan niet – het is immers in Nederland een unicum als een wetenschapper de voorpagina van zo'n gezagrijk tijdschrift haalt. Wat ik toen gedaan heb is een aantal afbeeldingen opgestuurd met de mededeling dat ik iets beters had. Dit vonden ze prachtig mits ze het met de juiste pixeldichtheid aangeleverd konden krijgen. Toen hebben we opnieuw kristallen laten groeien, maar nu speciaal voor de voorkant. Hiervoor hebben we een andere chemie gebruikt dan dat we in het artikel gedaan hebben. Alleen op die manier konden we zo'n prachtig kristal construeren.

P.V.:

Wat is er dan precies anders gedaan in de chemie dat dit eruit kwam?

N.S.:

We hebben een andere zeep gebruikt. Normaal gebruiken we een negatief geladen zeep, nu gebruikten we een positief geladen zeep om er voor te zorgen dat het kristal zo groot zou worden. Vervolgens heeft *Science* de kristallen ingekleurd. Bij het kleuren heb ik aangegeven dat de achtergrond blauw moest worden en het kristal geel, want die kleuren hebben we ook in het artikel gebruikt. Ik wil die herkenbaarheid gebruiken. Ik wil dat mensen de relatie kunnen leggen tussen de voorkant en wat ze al bladerend tegenkomen in het tijdschrift” (Sommerdijk 2010).

De cover laat dus een visualisatie zien van een experiment dat niet overeenkomt met het experiment waar de cover naar verwijst. De link is louter door kleurgebruik gestuurd. In de bijgaande tekst in *Science*, “About the Cover,” wordt weliswaar de kunstmatige inkleuring benadrukt, maar er staat geen woord over het feit dat het niet om hetzelfde experiment gaat:

“False-color scanning electron micrograph of oriented vaterite, a crystalline polymorph of calcium carbonate, formed through template-controlled nucleation. Formation starts with the aggregation of prenucleation clusters forming an amorphous phase from which the crystals develop at the template surface. This experimental process may be analogous to the natural formation of seashells and other marine skeletons” (“About the Cover: 2009).

Ook de focus op ruwe data in de editorials lijkt opmerkelijk genoeg in de praktijk anders te gaan. Hierover kwam in een interview het volgende naar voren:

N.S.:

“*Science* wil geen gemanipuleerde afbeeldingen, dat hebben ze heel helder in hun richtlijnen staan. Ze gaan nog verder: eigenlijk willen ze de ruwe beelden hebben. Daar sta ik ook volledig achter. Het wrange is dat *Science* onze ruwe data niet wilde hebben, daar hadden ze de ruimte niet voor. De filmpjes zijn 10 MB per stuk en dat was teveel. De ruwe data zijn dus niet gestuurd naar de referenten.

P.V.:

Dus er zit een tegenstrijdigheid in de boodschap van dit tijdschrift?

N.S.:

Dat is dan een subeditor die ergens een beslissing neemt omdat zijn mailbox vol zat” (Sommerdijk 2010).

Het zou niet correct zijn om aan de hand van dit geval te generaliseren naar een algemene werkwijze van *Science*. Toch staat dit duidelijk haaks op wat elders verkondigd wordt in editorials. De wens voor “dirty images” ten spijt, lijkt dit bij covers niet op te gaan. Wil een onderzoeker de cover van een wetenschappelijk tijdschrift halen, dan dient de visualisatie toch aan bepaalde schoonheidseisen te voldoen voor tijdschriften. Ook is een volle mailbox is blijkbaar voldoende om de ruwe data niet op te nemen in het peer review-proces, wat ook problematischer gevolgen had kunnen hebben.

Conclusie

Concluderend komen aan de hand van bovenstaande verkenning een aantal observaties naar voren. De cijfers van toenemende ontoelaatbare beeldingrepen in wetenschappelijke publicaties liegen er niet om. Tijdschriften hebben daarom kwalitatief wisselende nieuwe richtlijnen ingesteld om ontoelaatbare beeldbewerking van ruwe data tegen te gaan. Beeldbewerkingssoftware wordt in editorials binnen dit debat geframed als problematisch, terwijl het kennisgenererende potentieel van dergelijke software onbesproken blijft. Doelbewuste beeldfraude blijkt echter niet het grote probleem. Eerder spreken tijdschriften van een cultuur van “beautification,” die beeldbewerking zou aanjagen. Daarom pleiten tijdschriften voor een stilistische verschuiving in wetenschappelijke visualisaties naar “dirty images.” Ook deze stijlverandering naar non-stijl kan problematisch zijn en leunt louter op een onterecht vertrouwen in de mechanische causaliteit van hedendaagse beeldinstrumenten die feitelijk meer interpretatie en interventie van onderzoekers vragen. Er is daarnaast een eenzijdige focus in het debat binnen tijdschriften op esthetische ingrepen in afbeeldingen, zonder het kennisgenererende potentieel van dergelijke beeldanalyse software te benoemen. Ook lijkt zich een paradoxaal conflict voor te doen tussen wat tijdschriften uitdragen over beeldethiek en hoe daadwerkelijk wordt omgegaan met schoonheid in wetenschappelijke afbeeldingen. Het publicatieproces van de coverstory van de casestudy in *Science* onderstreept die tegenstrijdige houding.

Deze observaties nodigen uit tot een verdere verkenning van het vraagstuk. Allereerst dient de verhouding tussen schoonheid en wetenschap verder uitgelicht te worden aan de hand van de vraag hoe afbeeldingen in wetenschappelijke publicaties gebruikt worden. Daarnaast moet het visuele milieu waarin onderzoekers zich bevinden verkend worden om de drang naar schoonheid in wetenschappelijke afbeeldingen te kunnen duiden. De hierboven besproken tijdschriften maken louter gebruik van beeldanalyse in hun benadering van het probleem. In de volgende hoofdstukken wordt afgeweken van traditionele beeldanalyse om de rol van afbeeldingen, schoonheid en beeldmanipulatie in het onderzoeksproces in kaart te brengen.

2 Het dilemma van schoonheid in wetenschap

“We must have images; we cannot have images” (Galison 2002: 300).

De centrale conclusie uit de voorgaande analyse van het beeldfraudevraagstuk is de paradoxale houding van wetenschappelijke tijdschriften ten aanzien van schoonheid in visualisaties. Terwijl tijdschriften in redactionele stukken iedere poging om visualisaties esthetisch prikkelender te maken verwerpen, gaan deze principes niet op voor de coverafbeeldingen. Deze tegelijkertijd afkeurende en omarmende houding ten aanzien van mooie afbeeldingen in wetenschap wordt in dit hoofdstuk verder onder de loep genomen.

De bovenstaande quote typeert de eindeloze tweestrijd waarin wetenschap de afgelopen 150 jaar verwickeld is geweest tussen het omarmen en verwerpen van afbeeldingen als basis voor wetenschappelijke kennis (Galison 2002). We hebben volgens Galison afbeeldingen nodig vanwege hun pedagogische functie: alleen afbeeldingen kunnen in ons de juiste intuïtie ontwikkelen die nodig is om tot abstractie te komen. Daarnaast hebben we volgens hem afbeeldingen nodig om kennis te genereren: door het menselijke vermogen tot patroonherkenning spelen afbeeldingen een cruciale rol in de totstandkoming van wetenschappelijke ontdekkingen. Bovendien kunnen afbeeldingen de natuur weergeven op een manier die met tekstuele beschrijvingen onmogelijk zou zijn (Galison 2002: 300). Ondanks deze positieve eigenschappen kunnen we tegelijkertijd maar moeilijk met afbeeldingen leven: ze kunnen misleiden en feitelijk onjuiste redeneringen aannemelijk maken. Alleen ultieme abstractie, bijvoorbeeld de logica, zou tegenwicht kunnen bieden tegen het misleidende potentieel van afbeeldingen (ibidem: 300).

Dit aloude wetenschapsfilosofische dilemma lijkt ook vandaag de dag nog steeds de basis te vormen voor het verwerpen van “pretty pictures” door wetenschappelijke tijdschriften. Schoonheid accentueert volgens tijdschriftredacties het misleidende potentieel van afbeeldingen. Matige onderzoeksresultaten zouden te verdoezelen zijn met verbluffende visualisaties en “beautification” zou bijdragen aan een cultuur van problematische beeldmanipulatie. Om tegenwicht te bieden tegen deze voorbarige verwerping van schoonheid wordt in dit hoofdstuk aan de hand van interviews naar de functies en herkomst van schoonheid in de wetenschappelijke beeldpraktijk gekeken. Anders dan bestaande publicaties waarin stilistische keuzes van wetenschappelijke beeldmakers veelal gekoppeld worden aan kunsthistorische referenties wordt de herkomst van esthetisering dichter bij huis gezocht in de directe visuele omgeving waarin beeldmakers zich bevinden: het visuele milieu.

2.1 Schoonheid als basis voor kennis

“What ‘looks beautiful’ also ‘has the ring of truth’” (Kallick-Wakker 1994: 310).

Schoonheid als drijvende kracht achter wetenschappelijke ontdekkingen

Schoonheid mag dan de potentie hebben om te misleiden, of zoals wetenschappelijk illustrator Ingrid Kallick-Wakker het stelt “limit questions about the science behind the image” (Kallick-Wakker 1994: 309), het is ook van oudsher een belangrijke motivatie voor wetenschappers. Dit beargumenteren wetenschapspedagogen Mark Girod et al. aan de hand van een citaat wiskundige Henri Poincaré : “The scientist does not study nature because it is useful; he studies it because he delights in it, and he delights in it because it is beautiful” (Girod et al. 2002: 575). Ook wetenschapshistoricus Robert Root-Bernstein stelt vast dat de emotionele beleving van schoonheid een cruciale drijfveer was voor Albert Einstein. Bovendien zou de esthetische ervaring van wetenschap niet wezenlijk verschillen van de ervaring van kunst (Root-Bernstein 1996).

Het probleem met dit soort uitspraken in deze en soortgelijke studies is echter dat het begrip “beautiful” onvoldoende verhelderd wordt. Wetenschapshistoricus Federic L. Holmes onderzocht daarom aan de hand van het Meselson-Stahl experiment naar DNA replicatie, dat vaak als een mooi onderzoek getypeerd wordt, welke kwaliteiten een experiment mooi maken (Holmes 1996). Onder oppervlakkige typering als “elegant” en “wonderful” bleken de concepten “cleanness” en “simplicity” bepalende factoren om een experiment tot een mooi experiment te verheffen (Holmes 1996: 100). Mooi hoeft niet noodzakelijkerwijs naar iets visueel te verwijzen. Het kan ook betrekking hebben op de schoonheid van een natuurlijk proces. Bij de casestudy wordt met passie over zowel het uiterlijk van de kristallen als de ingenieusheid van het natuurlijke proces gesproken.

“P.V.:

U kaartte in een interview met *National Geographic* de “beautiful strategies that nature uses to make strong and precise materials” aan [red. Dell’Amore 2009]. Aan de hand van deze vergelijking is te beargumenteren dat schoonheid in wetenschap niet alleen een esthetische, oogstrelende functie heeft, maar dat het opzoeken van schoonheid in materiaal ook nieuwe kennis kan opleveren. Kunt u verder ingaan op dit idee dat we van schoonheid kunnen leren in het vervaardigen van nieuwe materialen? Welke rol speelt schoonheid van de natuur in het wetenschappelijke proces?

N.S.:

We hebben enerzijds schoonheid zoals we die hebben in materialen en objecten die we waarnemen. Aan de andere kant hebben schoonheid en elegantie in een proces, die mogelijk niet te zien zijn. De natuur heeft op een ongelooflijk intelligente wijze zaken samen laten komen die vervolgens leiden tot een structuur die direct verbonden is met de eigenschappen die we zien. De genialiteit van dat proces is wat ik in het bovenstaande citaat “beautiful” noem.

P.V.:

Is het dan de fascinatie voor de elegantie van zo’n proces die je ertoe zet om er onderzoek naar te doen?

N.S.:

Ja, maar niet helemaal. Want het is natuurlijk allemaal heel simpel begonnen met het feit dat je dit soort kristallen in een bakje met zeep kunt laten groeien (...) Kristallen zijn daarnaast gewoon mooi. Het idee dat ik met mijn stofjes deze mooie objecten kon maken, en bovendien kon laten zien dat we er meer mee kunnen was het startpunt” (Sommerdijk 2010).

Waar natuurschoon de interesse van onderzoekers kan wekken is de koppeling tussen wetenschappelijke waarheden en schoonheid volgens paleontoloog en wetenschapshistoricus Stephan J. Gould problematisch: “it has become a bit of a cliché to proclaim this Keatsian (or Grecian urn) connection between truth and beauty as a criterion for scientific accuracy” (Gould 1996: 46). Het koppelen van eenvoud en symmetrie² aan kennisproductie heeft dan ook een belangrijke keerzijde: “Beauty, at least as prejudicially defined by simplicity and symmetry, does not always pervade natural objects, which may be stochastically or contingently messy” (Ibidem). Anders geformuleerd, wanneer onderzoekers zich alleen op mooie processen zouden richten zou de complexiteit van de natuur mogelijk over het hoofd gezien worden.

Kort samengevat speelt schoonheid in brede zin een belangrijke motiverende rol voor wetenschappers om verschijnselen nader te bestuderen. In de voorbeelden wordt schoonheid als natuurschoonheid gezien, de elegantie van natuurlijke processen en fenomenen. De keerzijde van een te sterke focus op natuurschoon maakt dat de complexiteit en grilligheid van fenomenen mogelijk over het hoofd gezien wordt. Waar de waardering voor natuurschoon weinig controversieel

² Een recent voorbeeld van een studie die symmetrie als basis ziet van wetenschappelijke ontdekkingen is het boek *Why Beauty is Truth: A History of Symmetry* van wiskundige Ian Stewart (Stewart 2007). Hierin stelt Stewart dat baanbrekende historische wiskundige en natuurkundige ontdekkingen als overeenkomst hebben dat deze gestoeld zijn op het esthetische principe symmetrie.

is, loopt de discussie hoger op bij de moedwillige esthetisering van wetenschappelijke afbeeldingen. In de volgende sectie worden de functies van schoonheid in visualisaties verkend.

Frankel als voorvechter van schoonheid in wetenschappelijke beelden

Tegenover tijdschriftenredacties die stellen dat het bewust mooier maken van visualisaties problematisch kan zijn voor de integriteit van het onderzoek staat wetenschapsfotograaf Felice Frankel, een vervent voorvechter van schoonheid in wetenschappelijke afbeeldingen. In haar publicatie *Envisioning Science: The Design and Craft of the Science Image* - een handboek voor beeldproducerende onderzoekers - zet zij in detail uiteen hoe onderzoekers oogstrelende wetenschappelijke afbeeldingen kunnen construeren. Haar positie ten aanzien van schoonheid wordt al duidelijk bij het lezen van de achterzijde van het boek die de inhoud beschrijft als “a guide to creating dynamic and compelling photographs for journal submissions and for scientific presentations to funding agencies, investors and the general public” (Frankel 2002). Wetenschap kan floreren door het gebruik van verbluffend mooie visualisaties. Haar belangrijkste argument is dat mooie wetenschappelijke afbeeldingen wetenschap beter communiceren en een breder publiek bereiken. Volgens Frankel gaat schoonheid in afbeeldingen hand in hand met kennisoverdracht:

“If we can better communicate the process of scientific investigation by inviting nonscientists to participate in scientists' thinking through a more accessible visual language, more people will comprehend and respect the rigor of scientific methodologies and systems of evaluation” (Frankel 2007: 392-393).

Een ontoegankelijke visuele stijl met bijvoorbeeld veel beeldruis zou een groot deel van het potentiële publiek buitensluiten van het wetenschappelijke debat. Door aantrekkelijke visualisaties zullen volgens Frankel meer mensen geïnteresseerd raken in de wetenschappelijke complexiteit achter de afbeelding:

“The research community must have more confidence in the public's ability to understand that to ask the more complicated questions about nature, we must develop a language that enables them first to *look* and then to *find*, within that language, the questions to ask” (393).

De in hoofdstuk 1 besproken strikte richtlijnen van wetenschappelijke tijdschriften ten aanzien van schoonheid weerhouden volgens Frankel beeldmakers hiervan, hoewel zij ook binnen tijdschriften dubbele geluiden observeert:

Their publishers and editors, even of the most prestigious journals, do not often underwrite color reproduction even when it might clarify the data, or when budget constraints do not play the deciding role. Meanwhile, the art departments of the same journals are also frustrated by too many submissions lacking technically refined and attractive images.” (Frankel 1998: 1698).

Met die observatie wordt aan de kern van de paradoxale houding van *Science* in het vorige hoofdstuk geraakt. In datzelfde *Science* beargumenteert Frankel dat onderzoekers getraind zijn huiverig te zijn voor “visual stunning displays” die oppervlakkig en overbodig zouden zijn (Frankel 1998: 1698). Hierdoor schieten wetenschappelijk beeldmakers voorbij aan hun kerndoel - “to share the visual richness of our world, to make it accessible” (ibidem). Precies die visuele rijkdom geeft volgens Frankel de mogelijkheid om wetenschappelijke ideeën beter te communiceren:

“For me, form, shape, and composition are integral to a scientific image or representation; I compose data, making it readable and comprehensible, and the theorists and experimentalists with whom I work agree that visually clarified information adds another dimension to the exchange of ideas” (Ibidem).

Als beeldmaker claimt Frankel dus actief een rol te spelen in het communiceren van wetenschappelijke informatie. Die communicatieve rol van schoonheid in afbeeldingen is een belangrijke beweegreden voor beeldingrepen.

Beweegredenen voor valse kleuren en esthetisering

In haar handboek *Envisioning Science* besteedt Frankel een hoofdstuk volledig aan de digitale manipulatie van wetenschappelijke afbeeldingen met behulp van Photoshop. Het inzetten van beeldmanipulatie met als doel het analyseren van data wordt hier volledig buiten beschouwing gelaten: “because the book emphasizes making pictures for the purpose of communication and not for analyzing data, the examples included in this chapter address the communicative nature of manipulation (Frankel 2002: 268). Hoewel die analytische functie van beeldbewerking juist relevant is³, beperkt deze sectie zich tot hoe die relatie tussen beeldmanipulatie en communicatie geformuleerd wordt vanuit een beeldmakersperspectief.

Frankel juicht het gebruik van filters en “false colours” toe om tot een visueel product te komen dat esthetisch opvalt tussen het gros van de visueel middelmatige wetenschappelijke publicaties: “Although the science community doesn’t generally use most of these filters, it’s possible that adding a bit of drama, especially if you are presenting the work to the general public,

³ In hoofdstuk 3 wordt uitgebreid op de analytische functies van beeldbewerking ingegaan aan de hand van de casestudy.

can be helpful” (Frankel 2002: 282). Digitale beeldbewerking wordt dus ingezet om visueel op te vallen tussen collega-onderzoekers. Frankel hamert daarom ook op het ontwikkelen van een herkenbare persoonlijke visuele stijl:

“If your scanning electron microscope comes with coloring software, don’t always use the default color palette. Your images should not look like those of your colleagues; you should control the appearance of your image, not the computer scientist who created the algorithms.” (Frankel 2002: 269).

Ook in de casestudy zien we dit uitgangspunt terug. In het vorige hoofdstuk werd beschreven hoe middels valse kleuren een visuele koppeling gemaakt werd tussen de cover en het artikel in *Science* zodat lezers herkennen dat het onderzoek van de groep afkomstig is. Over kleurgebruik in een andere visualisatie die recent op de cover van het tijdschrift *MRS Bulletin* [figuur 8] verscheen stelde Sommerdijk het volgende:

P.V.:

“Deze afbeelding is dus met een SEM gemaakt, die kleurloze beelden produceert. Waarom is er gekozen voor de kunstmatige oranje gloed? Welke beslissingen liggen hierachter?”

N.S.

Een collega van mij kwam met die suggestie, hij houdt van kleur in publicaties. Kleur is een arbitraire zaak, maar toch zijn kleuren belangrijk omdat mensen hiermee affiniteit kunnen hebben. Of de afbeelding als mooi of niet mooi wordt ervaren heeft ook te maken met de gekozen kleuren. Ik moet zeggen dat ik vaak niet onder de indruk ben van de esthetiek van plaatjes. Ik vind collega-wetenschappers vaak nog erg functioneel in hun benadering. Ik denk meer van: als we toch aan het kleuren zijn laten we het dan mooi maken. Ik probeer daar wel een extra stap te maken, omdat de esthetiek heel belangrijk is om aandacht naar je werk toe te trekken” (Sommerdijk 2010).

Het vraagstuk naar het gebruik van valse kleuren in elektronenmicroscopie draagt dan ook een sterke sociologische component in zich. Hoewel tijdschriften argumenteren voor minder mooie afbeeldingen, laat een sociologische studie naar radiologie zien dat onder radiologen op congressen wel degelijk verwacht wordt dat er een zekere schoonheidsstandaard getoond wordt. Socioloog Regula Val rie Burri stelt dat op congressen valse kleuren aan de orde van de dag zijn: “many radiologists had coloured the images they selected for presentation. When one radiologist speaking at a conference presented a brain scan with poor contrast and colour, the audience laughed and began to murmur” (Burri 2008: 50). Het gebruik van mooie afbeeldingen zou de positie van

wetenschappers binnen een “peer-group” verstevigen en daarmee het symbolische kapitaal van de onderzoeker vergroten (Ibidem). Het conformeren aan dergelijke uiterlijke normen is dus een voorwaarde om serieus genomen te worden als onderzoeker. Hoewel de reikwijdte van dit onderzoek het niet toelaat om deze sociologische processen binnen elektronenmicroscopie uitgebreid te onderzoeken, is de gedachte aannemelijk dat soortgelijke processen ook onder collega-onderzoekers van de casestudy plaatsvinden.

Die sociale druk onder onderzoekers maakt dat soms de grenzen van toelaatbaarheid zoals geformuleerd door tijdschriften erg ruim genomen worden. Zo geeft Frankel de opmerkelijke tip om met Photoshop verschillende microscopische afbeeldingen naadloos in een enkel beeld te combineren (Frankel 2002: 285). Het opnemen van meerdere samples in één en hetzelfde beeld zou bijdragen aan het idee dat het om reproduceerbaar onderzoek gaat en dus de bewijskracht van de afbeelding vergroten: “including more than one sample in a single image is a powerful technique (...) additional samples contribute to the aesthetic appeal of your image through repetition, and also implies that your scientific results can be replicated” (Frankel 2002: 285). Deze beeldingreep staat letterlijk haaks op de richtlijnen van *Nature* waarin staat dat “images gathered at different times or from different locations should not be combined into a single image” (“Image Integrity” 2011). Met andere woorden, wanneer studentonderzoekers de tips van Frankel ter harte zouden nemen, dan zou hun manuscript niet door de peer-review van *Nature* komen. De visie van Frankel op het kijken naar schoonheid in wetenschap kent daarom ook de nodige kritiek, zoals de volgende sectie laat zien.

James Elkins’ kritiek op ondoordacht gebruik van schoonheid

Kunsthistoricus James Elkins publiceerde in 2007 het resultaat van een studie waarin universiteitsbreed visuele praktijken in kaart zijn gebracht (Elkins 2007). In deze studie besteedde hij expliciet geen aandacht aan de relatie tussen kunst en wetenschap omdat deze oververtegenwoordigd zou zijn binnen ‘visual studies’: “one reason to try to stop paying attention to the art-science difference is the impoverished discourse that is built on words like “beauty,” “elegance,” and “pattern”” (Elkins 2007: 16). Elkins bekritiseert dan ook de interviews die Felice Frankel hield met verschillende onderzoekers over de betekenis van schoonheid in hun werk:

“Bell is Art Director of *Scientific American*; his endorsement appears on Hybrid Medical Animation’s web pages. “Beauty” would seem to mean something like “dazzling post-production-style visual effects” — different, I think, from Berry’s [red. Michael Berry, fysicus aan Bristol University] “beautiful” which means something like “elegant curvilinear patterns not unlike Op Art,” and from Hester’s [red. Jeff Hester, onderzoeker bij de Hubble Space

Telescope] “beautiful” which means something like “patterns that can be universally recognized.” (Elkins: 16)

Elkins reageert op dit in zijn visie onjuiste discours over schoonheid, door zich van esthetisch oordeel te onthouden: “I will be ignoring the intermittent temptation to say such-and-such an image is beautiful, and I will not be presenting any image, no matter how luscious, as possessing any aesthetic properties that its maker or its intended audience have not already claimed for it” (Elkins 2007: 9). Hij verwijt Frankel oppervlakkigheid omdat de wetenschappelijke inhoud achter de ‘prachtige’ afbeeldingen geen aandacht krijgt en omdat Frankel esthetische ingrepen niet kan plaatsen in een kunsthistorische context: “Frankel’s projects miss the many specific connections between photographic decisions informed by the history of art, on the one hand, and by the scientists’ purposes, on the other” (Elkins 2007: 10). Wat Elkins in plaats daarvan relevant acht voor het onderzoeken van schoonheid in wetenschappelijke afbeeldingen, is de relatie tussen de “artistic decisions” in bepaalde beelden en een “inch-by-inch account of the scientific meaning of each form” (ibidem: 10). Deze insteek waarin het uiterlijk van wetenschappelijke afbeeldingen geanalyseerd wordt in relatie tot de wetenschappelijke betekenis van beeldelementen is een centraal uitgangspunt voor hoofdstuk 3. Voor nu is het van belang op de ‘artistieke’ beslissingen in te zoomen, aangezien de vergelijking tussen wetenschappelijke beeldmakers en kunst niet geheel onproblematisch is.

Hoewel Elkins zich duidelijk afzet tegen het discours over de relatie tussen kunst en wetenschappelijke afbeeldingen, zoekt hij zelf de oorsprong van esthetische overwegingen die beeldwetenschappers maken volledig in de kunstgeschiedenis. Elkins bekritiseert de boeken van Frankel op het ontbreken van een analyse van haar artistieke invloeden, om vervolgens te dicteren hoe Frankel dit had moeten aanpakken:

“Her compositional choices, for example, are influenced — I assume mostly indirectly, without deliberation — by Abstract Expressionism, and by realist projects such as the Boyle Family’s fiberglass castings. In art historical terms, her practice derives from several strands of modern painting and photography from the 1940s to the 1980s” (ibidem).

In deze drang naar kunsthistorische referenties om esthetische overwegingen van wetenschappelijke beeldmakers te duiden zit het zwakgebod van Elkins argument. Hiermee overstijgt hij de traditionele beeldanalyses van geesteswetenschappen waar hij op afgeeft onvoldoende. Immers hij projecteert zijn kunsthistorische referentiekader op zijn cases. Terwijl Elkins stelt zich te onthouden van iedere esthetische typering anders dan door de maker of het publiek geuit (9), maakt hij zich hier juist schuldig aan in zijn kritiek op Frankel. Ik betwijfel of kunsthistorische referenties

een adequaat middel zijn om de esthetische ingrepen van onderzoekers te duiden, omdat deze kennis bij veel wetenschappelijke beeldmakers zal ontbreken.

Elkins' argumentatie dat Frankels begrip van schoonheid niet klopt omdat dit niet kunsthistorisch gegrond zou zijn berust dus ironisch genoeg op een relatie tussen kunst en wetenschap waar hij zelf tegen ageert. In plaats van esthetische motivaties van wetenschappelijke beeldmakers in bewuste of onbewuste kunsthistorische referenties te zoeken, wordt in de volgende paragraaf een alternatieve meer pragmatische verklaring voor esthetisering verkend. In plaats van een beeldanalyse die gestoeld is op artistieke ambities, wordt de herkomst van schoonheidsstandaarden in de directe visuele omgeving van wetenschappelijke beeldmakers gezocht.

2.2 Een milieu van mooie visualisaties

Beeldvergelijking maakt plaats voor de verkenning van het visuele milieu

De bovenstaande neiging van Elkins om de herkomst van stilistische ingrepen in de kunstgeschiedenis te zoeken is nog explicieter te zien bij wetenschapssociologen Michael Lynch en Samuel Y. Edgerton junior. Zij onderzochten de overeenkomsten tussen schilderkunst en *image processing* in astronomie (Lynch en Edgerton jr. 1996). Hun conclusie op basis van laboratoriumstudies was dat wetenschappers “were using artistic vocabularies and making aesthetic judgments when they composed images for analysis and publication” (ibidem: 109). Die observatie komt echter voort uit een beeldvergelijking die Lynch en Edgerton jr. zelf maakten. Ook al observeren Lynch en Edgerton jr. dat astronomen nauwelijks kennis hebben van kunstgeschiedenis, toch prijzen ze de artistieke kwaliteiten van sommige visualisaties omdat deze uiterlijke overeenkomsten hebben met grote kunstenaars uit de moderne kunst. De kleurige, pixelrijke visualisaties van kometen worden vergeleken met de pointillistische stijl van Georges Saurat en een zestiental digitaal gerenderde weergaven van het melkwegstelsel werd vergeleken met Wassily Kandinsky's beroemde *Color Studies: Squares with Concentric Rings, GMS 446* uit 1913 (ibidem: 112 en 117). Hierop uit ik een vergelijkbare kritiek als op Elkins, want er wordt een kunsthistorisch narratief geprojecteerd op de beeldkeuzes van onderzoekers dat mogelijk niet overeenkomt met de intenties van beeldmakers. Een punt dat Elkins nota bene zelf veroordeelt in zijn kritiek op geesteswetenschappelijk onderzoek naar bètawetenschappen:

“It is crucial, I think, to resist the desire to create continuous narratives out of specific practices, to decline the temptation to soften jargon, to refuse — at least temporarily — to

assign meaning to apparently inarticulate computational practices. Those desires are typical of the humanities when they look to the sciences” (Elkins 2007: 8).

Om deze geesteswetenschappelijke ‘bias’ te voorkomen is een ander concept dat Lynch en Edgerton jr. in deze studie slechts zijdelings noemen zeer bruikbaar om esthetische keuzes van wetenschappelijke beeldmakers te analyseren: het ‘milieu’. Hoewel zij geen letterlijke definitie geven, beschrijven zij dit begrip in de volgende zin:

“practitioners of the ancient science of astronomy not only are exposed to a modern milieu of professional and vulgar art, they also make use of much of the same image-making and image-processing technologies that media production specialists and computer artists have grown accustomed to using” (Lynch en Edgerton Jr. 1996: 109).

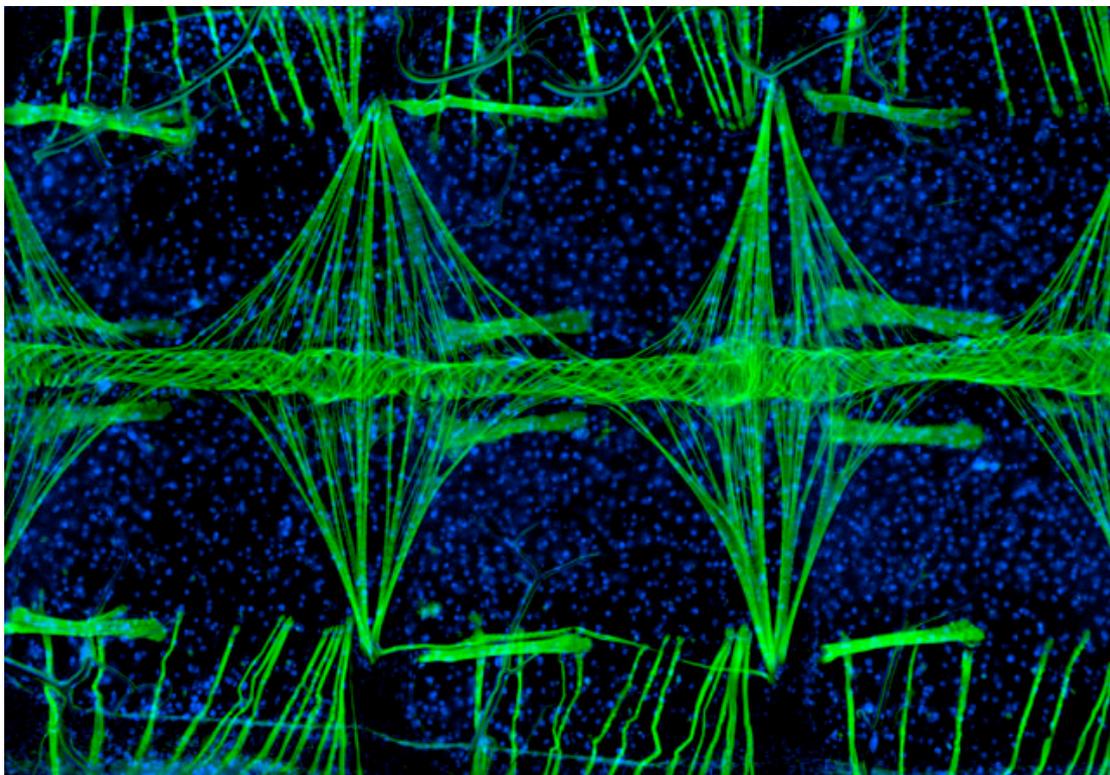
Die visuele omgeving moeten we in beschouwing nemen om esthetische overwegingen in het maken van visualisaties te onderzoeken. Wetenschapshistoricus Matthew Norton Wise benadrukt die invloed van omgevingsfactoren en ziet het als een onontkoombaarheid dat elementen uit die directe cultuur terecht komen in het werk van wetenschappers: “they [red. wetenschappers] must always present their images within the culture they inhabit (...) both making and understanding images immediately draw on broad cultural resources” (Norton Wise 2006: 80). Tegenover Elkins (2007) en Lynch en Edgerton Jr. (1996) beargumenteer ik dat de herkomst esthetische keuzes van onderzoekers niet gezocht moeten worden in de kunstgeschiedenis, maar door omgevingsfactoren die het visuele milieu constitueren te schetsen. Uit interviews komt naar voren dat dit milieu zich meer in de directe omgeving van de onderzoekers bevindt. Te denken is aan visuele uitingen als covers van wetenschappelijke tijdschriften, glossy advertenties van beeldinstrumenten, microscopische beeldcompetities, softwarepakketten voor het visualiseren van data, maar ook de beperkingen in de visuele output van gebruikte beeldtechnologie. Deze laatste twee komen in het laatste hoofdstuk uitgebreider aan bod. De volgende sectie gaat in op microscopische beeldcompetities en het uiterlijk van wetenschappelijke tijdschriften.

Microscopische beeldcompetities en glossy covers als visueel milieu voor elektronenmicroscopie

Twee visuele omgevingen zijn specifiek interessant om de herkomst van schoonheidsstandaarden in elektronenmicroscopie te duiden. De eerste betreft de zogenaamde microscopische beeldcompetities. In deze competitities, veelal georganiseerd door beeldtechnologie bedrijven zenden microscopisten hun meest aansprekende afbeeldingen in voor de strijd om het mooiste microscopische beeld. Winnaars belanden vaak op kalenders van de betreffende bedrijven, maar

soms ook in musea. Hoewel dat feit de indruk wekt dat er sprake is van artistieke aspiraties, laten interviews juist zien dat kunst en deze competities gescheiden domeinen zijn. De tweede context bestaat uit elektronenmicroscopische beelden die geconstrueerd worden om de covers van wetenschappelijke tijdschriften te sieren.

De (elektronen-) microscopische beeldcompetities zijn talrijk. Vaak zijn ze ondersteund en georganiseerd door producenten van wetenschappelijke beeldinstrumenten. Zo heeft Nikon een jaarlijkse competitie genaamd The Nikon International Small World Competition, “which is celebrating over 30 years of excellence in photography and digital imaging through the microscope, is dedicated to furthering excellence and creativity in microscopy” (“Nikon International Small World Competition”). In figuur 4 is de winnaar van 2010 te zien.



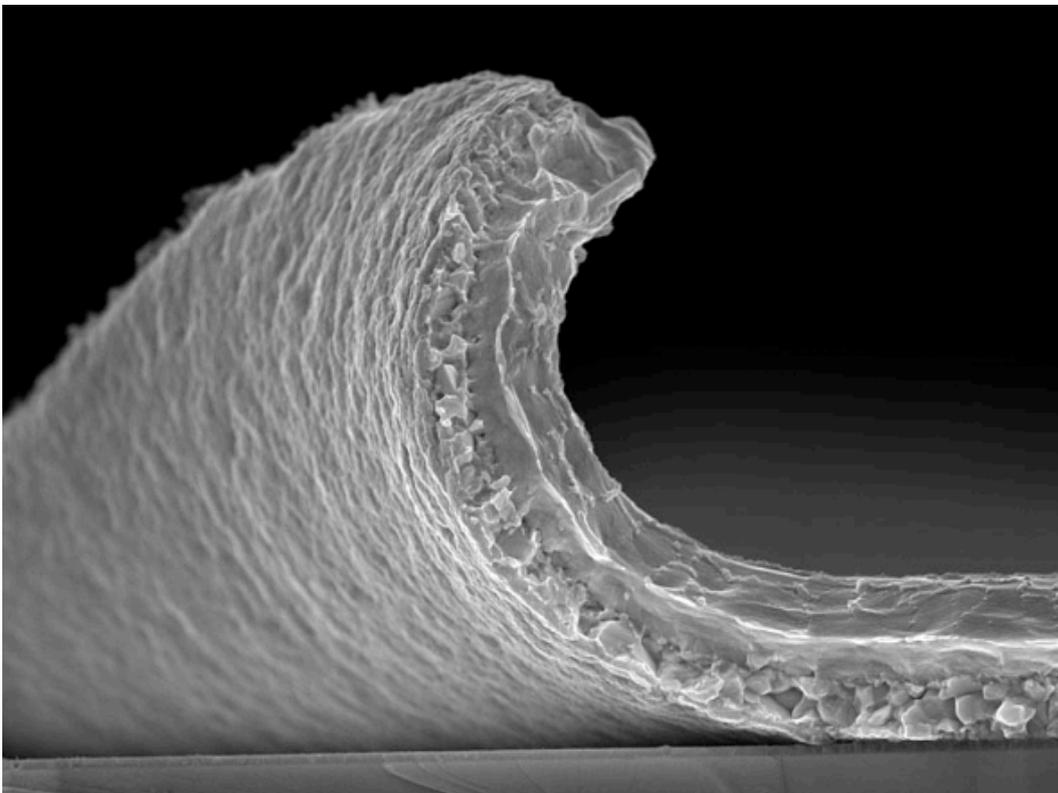
Figuur 4 De winnaar van de Small World competitie 2010, Jonas King, met de afbeelding “Anopheles gambiae (mosquito) heart.” Vergroting 100x (“1st Place, 2010” 2010).

Naast Nikon organiseert ook FEI, een producent van transmission electron microscopes (TEM) en scanning electron microscopes (SEM), maandelijkse en jaarlijkse competities onder hun klanten⁴. In deze competities worden inzendingen op basis van “originality, visual impact/creativity, technical proficiency and popularity” beoordeeld (“2010 Owner Image Contest” 2010). In de beoordeling doet de oorspronkelijke onderzoekswaarde van de afbeelding er dus niet toe, slechts het technisch vernuft en de visuele impact. De winnaars zien hun afbeelding terug in de jaarlijkse

⁴ FEI is ook de leverancier van de CryoTEM Soft Matter Unit.

FEI kalender waarbij FEI de disclaimer geeft dat “FEI reserves the right to colorize images used in the calendar for artistic impression” (ibidem). Het enige doel lijkt het maken van beelden waarin de visuele mogelijkheden van hun technologie zo goed en mooi mogelijk in beeld worden gebracht.

Een veelvuldig winnaar van dergelijke competities is microscopist Frans Holthuysen, die verbonden is aan Philips Research aan de Hightech Campus in Eindhoven. Zijn visualisaties hebben zelfs de interesse van toonaangevende museale instellingen gewekt. Zo exposeerde hij in 2008 in het MoMa te New York in de tentoonstelling “Design and the Elastic Mind” met vier afbeeldingen die waren gemaakt met behulp van een SEM (Antonelli 2008). Figuur 5 is daar een van. Hij begeeft zich in een niche genaamd ‘SEM art,’ een gebied dat bestaat uit microscopisten die tijdens hun werk opvallende, esthetisch prikkelende afbeeldingen die mogelijk geen enkele onderzoekswaarde hebben niet weggooien, maar inzenden naar beeldcompetities.



Figuur 5 Frans Holthuysen: “Wave.” Een metalen plaatje 40.000 x vergroot (“FEI images, 3 of 4”).

Terwijl in wetenschappelijke tijdschriften de coverafbeeldingen in de regel een connectie hebben met een onderzoek in het blad zelf, is het bij SEM art irrelevant wat de wetenschappelijke betekenis is van de afbeelding. De afbeeldingen representeren in het geval van Holthuysen alledaagse figuratieve vormen, zoals bloemen, donuts, skylines, of zeegolven, die zich op

nanoniveau toevalligerwijs in materialen manifesteren. De 'art' van winnende beelden lijkt te zitten in het herkennen en vastleggen van dit soort toevalligheden.

P.V.:

“Wat maakt dat uw afbeeldingen vaak in de prijzen vallen en door curatoren opgemerkt worden, en die van collega's niet?”

F.H.:

“Ze zijn superscherp. Daarnaast is de naam erg belangrijk in combinatie met het onderwerp. Zoals bijvoorbeeld “Donut” en “Wave.” Ik maak op eenzelfde manier gebruik van de techniek als collega's. Iedereen kan foto's maken, maar voor SEM art moet je ook het talent hebben om een afbeelding te kunnen scouten. Je moet het plaatje zien. Sommige collega's maken verschrikkelijk scherpe foto's, maar zien niet de 'art' in de foto, en die zie ik wel” (Holthuysen 2010).

Hoewel deze visualisaties geregeld als 'art' beschreven worden en soms zelfs in musea hangen ziet Holthuysen zich niet als kunstenaar: “ik zie het als toevalligheden” (ibidem).

Beeldcompetities en SEM art zijn dus kunst, noch wetenschap. Eerder een grijs gebied daartussen waar louter esthetische criteria bepalend zijn voor de waardering van afbeeldingen. Het is de vraag hoe dit fenomeen zicht tot elektronenmicroscopische beelden in wetenschappelijk onderzoek verhoudt. Microscopist Sommerdijk van de CryoTEM Soft Matter Unit stelt daarover het volgende:

N.S.:

“Ik sta daar [red. microscopische beeldcompetities] positief tegenover, maar heb er nooit aan meegedaan. Ik heb laatst overwogen om er aan mee te doen bij een conferentie in de Verenigde Staten. Ik heb besloten dit niet te doen omdat het veel tijd kost, en de kosten-baten winst is niet zo gunstig. Ik doe dit niet uit een hobby, maar hooguit omdat ik daar publiciteit uit kan halen. Omdat je niet zeker weet of je gekozen wordt is het daarmee zonde van de tijd. Deze afbeeldingen kunnen heel mooi zijn. Zo zijn er de kalenders van FEI die erg mooi zijn. Ik zou het ondersteunen als mijn groep daar moeite voor doet, maar dit gaat wat te ver aan het werk voorbij – de wetenschappelijke inhoud. Daarmee raken we ook kwijt waar het in wetenschap om gaat, namelijk de informatie die ik uit afbeeldingen kan halen.

P.V.:

Heeft u het idee dat onder invloed van dit soort competities en kalenders van wetenschappers binnen regulier onderzoek ook meer verwacht wordt in termen van het uiterlijke kwaliteiten?

N.S.:

Nee, ik meet mijn standaard af aan de tijdschriften waarin ik publiceer” (Sommerdijk 2010).

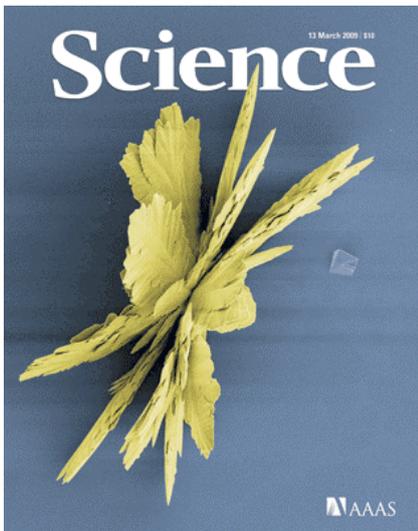
In een analyse van de visuele ontwikkeling van het tijdschrift *Nature* stelt kunsthistoricus Martin Kemp dat het gebruik van “false colour images” kenmerkend is voor het uiterlijk van het tijdschrift (Kemp 2000: 174). Glossy afbeeldingen zijn de norm geworden:

“Eye Catching 3D graphics of complex molecules, using standard graphics programs such as MolScript or locally devised systems, generally help to ensure a decent quotient of sexy visuals” (...) “No science volunteers to look out-of-date in its mode of illustration and colour plays a crucial role in this respect, often beyond the strict requirements of the context” (ibidem).

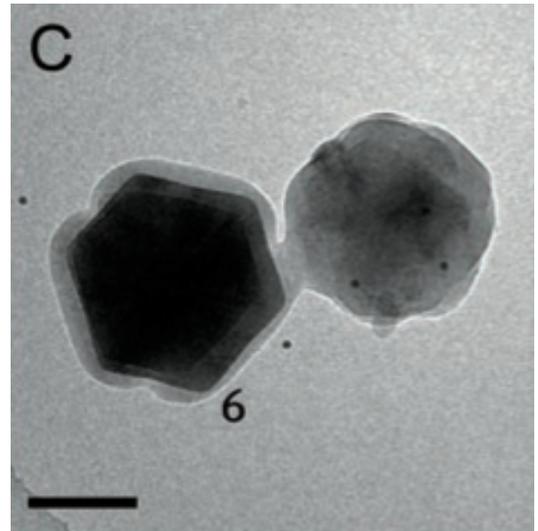
In advertenties culminereren deze visuele trends in wetenschappelijke beeldproductie:

“The currently fashionable rhetorics of scientific imagery appear in conveniently exaggerated form in the advertisements. Polished photographs of equipment and eager operatives feature prominently, with a lacing of more technical images such as graphs and the double helix (which must hold the advertisers’ record for popularity in this decade)” (Kemp 2000:175).

Die “overdrijving” van sexy wetenschappelijke beelden in advertenties, covers en competities constitueert gezamenlijk een zeker milieu van visuele standaarden. In dit milieu komen door de beeldtechnologische industrie gepresenteerde schoonheidsstandaarden - die soms zelfs flirten met het predicaat kunst - toch in verbinding met afbeeldingen die onderzoekers uiteindelijk gebruiken in wetenschappelijke rapporten. En die afbeeldingen vormen vervolgens de beeldstandaard waaraan microscopisten als die in de casestudy het uiterlijk van hun beelden afmeten. Recente coverafbeeldingen van de onderzoeksgroep in *Science*, *MRS Bulletin* en *Chemical Society Reviews* laten zien dat oorspronkelijke visualisaties uit het onderzoek wel degelijk opgefleurd worden om de cover te kunnen sieren.



Figuur 6 De *Science* cover van de casestudy ("About the Cover" 2009).



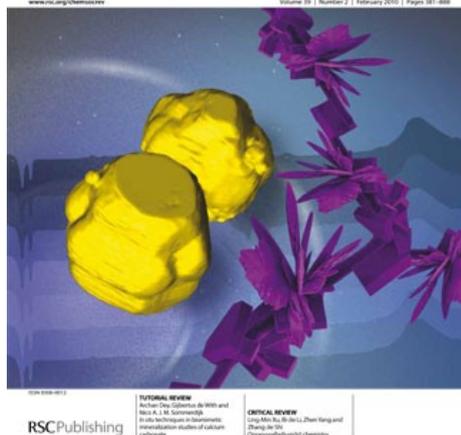
Figuur 7 Afbeelding uit de publicatie die laat zien hoe de kristallen tijdens het onderzoeksproces in beeld gebracht zijn. Namelijk met TEM en niet met SEM (Pouget et al. 2009: 1457).



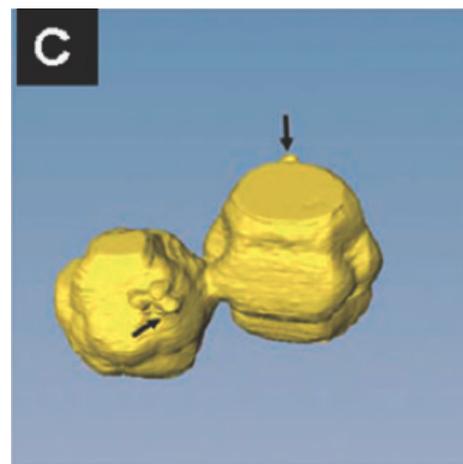
Figuur 8 De cover van *MRS Bulletin* (Sommerdijk en Cölfen 2010).



Figuur 9 De visualisatie waar de cover aan refereert in het artikel. Deze afbeelding is eigenlijk in grijswaarden (Sommerdijk en Cölfen 2010: 117).



Figuur 10 De cover van *ChemSocRev* (Dey et al. 2009).



Figuur 11 De visualisatie waar de cover aan refereert. (Dey et al. 2009: 407).

Over de totstandkoming van figuur 10 stelt Sommerdijk het volgende:

N.S.:

“Je herkent de gele volumes uit de andere publicatie. Die zijn uit dezelfde serie als de Science serie. Ook zie je de paarse string. Daar zit een interessant verhaal aanvast. Er is namelijk een haar per ongelijk in het monster terecht gekomen waar de kristallen allemaal tegenop gegroeid zijn. De cover is grafisch vormgegeven door een zeventienjarige vriend van zijn zoon, die overigens ook een impressie heeft gemaakt van het kristalformatieproces voor de eerder genoemde publicatie in *NRC Handelsblad*” (Sommerdijk 2010).

Het zou voorbarig zijn om op basis van bovenstaande observaties een directe link te leggen tussen beeldcompetities, kalenders van beeldtechnologiefabrikanten en het uiterlijk van wetenschappelijke tijdschriften. Mijn punt is dat deze competities die focussen op de ‘kunst’ in het microscopische beeld bepaalde beeldstandaarden zetten. Deze beeldstandaarden zijn alom vertegenwoordigd in mooie coverafbeeldingen en advertenties van fabrikanten in vakbladen. En zoals het volgende hoofdstuk laat zien, zijn deze fabrikanten nauw betrokken bij de totstandkoming van afbeeldingen in de casestudy. Dit amalgaam van verschillende factoren draagt bij aan het visuele milieu waarin onderzoekers zich bevinden. Factoren die dicht bij de onderzoekspraktijk staan, zoals microscopische beeldcompetities en het uiterlijk van wetenschappelijke tijdschriften, lijkt een directere weerklank te hebben in de visuele stijl van wetenschappers dan de kunstgeschiedenis.

Deze zeer summiere analyse van het visuele milieu van de elektronenmicroscopie heeft zich tot nu toe beperkt tot de analyse van uiterlijke aspecten. De beeldtechnologie in kwestie is hier nog

buiten beschouwing gebleven, terwijl die in belangrijke mate een stempel drukt op het uiterlijke mogelijkheden van visualisaties. Zoals kunsthistoricus Angela Fischel beargumenteert: “wer nach dem Zusammenhang zwischen Form und Technik forscht, wird daher nach anderen Anhaltspunkten als nach unmittelbar sichtbaren Spuren des Apparates auf der Oberfläche des Bildes suchen müssen” (Fischel 2008: 17). Met andere woorden, de relatie tussen vorm en beeldtechnologie laat zich niet analyseren door alleen naar uiterlijke aspecten te kijken van de afbeelding. De gebruikte instrumenten vergen ook aandacht in de studie naar vorm. De uiterlijke mogelijkheden van wetenschappelijke beelden zijn namelijk sterk beperkt door de visuele mogelijkheden en beperkingen van de beeldtechnologie in kwestie.

Conclusie

In dit hoofdstuk is globaal verkend welke rol schoonheid vervult in wetenschap. Hoewel het gebruik van de term schoonheid onder wetenschappers verre van eenduidig is en ook niet altijd visueel, vormt schoonheid van onderzoeksobjecten een soort oermotivatie voor onderzoekers om een onderwerp verder onder de loep te nemen. Het potentieel om data beter te kunnen communiceren en een breed publiek te enthousiasmeren is voor beeldmakers als Felice Frankel een prima verantwoording voor verregaande beeldingrepen. Ook de microscopist uit de casestudy voegt graag een onechte kleur toe aan een afbeelding als deze op die manier meer kans maakt om op de cover van een tijdschrift te prijken. Toch leidt dit volgens critici tot een dilemma. Schoonheid opent weliswaar deuren naar groter publiek, maar de wetenschap achter de afbeelding verdwijnt naar de achtergrond. Ook zou het simplificeren van fenomenen onvoldoende recht doen aan de complexiteit van natuurlijke processen.

Schoonheid kan bijdragen aan de communicatie van wetenschap en het gepubliceerd krijgen van onderzoek. De vraag wat precies onder schoonheid verstaan wordt is net als de herkomst van esthetische beslissingen van beeldmakers een complexer vraagstuk. Besproken studies naar schoonheid in het wetenschappelijke beeld vanuit zowel science & technology studies als visual studies gaan uit van beeldanalyse die vergelijkingen maakt tussen kunstgeschiedenis en wetenschappelijke beelden om de herkomst van esthetische en artistieke beeldingrepen te duiden. Uit de interviews met beeldmakers werd echter duidelijk dat zelfs wanneer een microscopische afbeeldingen het tot het Museum of Modern Art in New York City haalde er geen sprake was van artistieke motivaties bij beeldmakers.

In plaats van vergelijkingen te maken met kunstgeschiedenis is beargumenteerd dat de herkomst van esthetische ingrepen dichter bij de onderzoekspraktijk gezocht moet worden. Zo is de schoonheidsstandaard van tijdschriften doorslaggevend voor beeldkeuzes bij de casestudy. Die directe omgeving is breder geanalyseerd als het “visueel milieu” waarin onderzoekers zich begeven.

Een milieu dat geconstitueerd wordt door prachtige coverafbeeldingen van wetenschappelijke tijdschriften, maar ook door fabrikanten van beeldtechnologie. Zo spelen deze fabrikanten een rol door microscopische beeldwedstrijden uit te zetten voor de mooiste microscopische afbeeldingen⁵ en glossy advertenties in wetenschappelijke tijdschriften. Dergelijke wedstrijden zetten standaarden voor de esthetische mogelijkheden van beeldtechnologieën.

Deze meer pragmatische insteek van het begrip schoonheid haalt het begrip uit de frauduleuze context waarbinnen deze gepositioneerd wordt in de tijdschriftendiscussie van het vorige hoofdstuk. Het gaat meer om het conformeren aan bepaalde beeldstandaarden. Tijdschriften lijken zelf mede debet te zijn aan het visuele milieu waaraan beeldmakers hun afbeeldingen spiegelen.

⁵ De winnaars van de besproken FEI wedstrijd komen op een kalender die met klanten van FEI gedeeld wordt. Het is aannemelijk dat deze kalenders vervolgens op de kantoren van onderzoekers en beeldmakers belanden.

3 Het maakproces in beeld

“Reasoning and vision are intimately associated from the beginning of the rendering process to the end” (Lynch 1990: 168).

De analyse van editorials in hoofdstuk 1 toont een paradoxale verhouding van tijdschriften ten aanzien van schoonheid in coverafbeeldingen en een wantrouwen van iedere beeldingreep door wetenschappers. Een wantrouwen dat te zien is als een onterecht vertrouwen in de mechanische causaliteit van beeldinstrumenten. Als iets ontbreekt in de tijdschriftendiscussie over schoonheid en beeldmanipulatie dan is het een adequate weergave van de daadwerkelijke productiecontext van afbeeldingen en het gebruik van deze afbeeldingen in het onderzoeksproces voordat deze in tijdschriften verschijnen. Er wordt onvoldoende gekeken naar de functies van beeldmanipulatie in het onderzoeksproces en de rol van beeldingrepen in wetenschappelijke ontdekkingen. Ik beargumenteer in dit hoofdstuk dat wetenschappelijke afbeeldingen bestudeerd dienen te worden door zowel naar de totstandkoming als functies van visualisaties in het onderzoeksproces te kijken. De casestudy wordt gebruikt om te laten zien hoe beeldingrepen een belangrijkere rol spelen in onderzoek dan in de besproken editorials naar voren kwam.

3.1 Een methodische focus op maakprocessen

“Images are not just taken, they are designed and made” (Knorr Cetina en Amann 1990: 259).

In het vorige hoofdstuk is de herkomst van esthetisch gemotiveerde beeldkeuzes in wetenschappelijke afbeeldingen geduid als een conformering aan het visuele milieu waarbinnen wetenschappers opereren. Dit visuele milieu is te zien als een alternatieve lezing voor de vergelijking met kunstgeschiedenis als het gaat om het analyseren van vormeigenschappen in visualisaties. In navolging van Angela Fischels stelling dat de samenhang tussen vorm en techniek niet direct aan de hand van het uiterlijk van afbeeldingen te analyseren is, duikt deze sectie in op de technieken en processen die wetenschappelijke afbeeldingen constitueren. Niet zozeer om de vorm te analyseren, maar vooral om de functies van beeldingrepen in het onderzoeksproces te begrijpen.

Laboratoriumstudies en de functie van afbeeldingen in wetenschap

De functie van het visuele in wetenschap werd een centraal onderwerp van onderzoek binnen laboratoriumstudies⁶ in de jaren tachtig van de vorige eeuw. Een onderzoeksgebied waarin de totstandkoming van wetenschappelijke kennis centraal staat. Deze etnografische benadering van wetenschap ziet afbeeldingen in wetenschap als door individuen geconstrueerde entiteiten die niet neutraal zijn. Zo stelt Michael Lynch dat visuele representaties de initiële chaotische aard van onderzoeksobjecten versimpelen door bewuste selectie en weglating van objecten (Lynch 1990). Socioloog en filosoof Bruno Latour ziet afbeeldingen als de basis voor wetenschappelijke bewijsvoering en essentieel in wetenschappelijke ontwikkeling: “the rationalization that took place during the so-called ‘scientific revolution’ is not of the mind, of the eye, of philosophy, but of the sight” (Latour 1986: 7). Visuele middelen hebben volgen hem de bewijsfunctie van het geschreven woord overgenomen in wetenschap (Latour 1987: 47). Die retorische kracht van afbeeldingen wordt ingezet door onderzoekers om “bondgenoten” te vinden voor wetenschappelijke argumenten binnen de wetenschappelijke gemeenschap (Latour 1986). Sociologen Karin Knorr Cetina en Klaus Amann bevestigen op basis van *in situ* laboratoriumstudies het idee dat visuele data een primaire rol spelen in wetenschappelijke bewijsvoering: “in the natural sciences, evidence appears to be embodied in visibility; in a literal sense, it is embodied in what we can see on a data display” (Amann en Knorr Cetina 1988: 134). In het bestuderen en bespreken van visuele data ontstaat volgens hen wetenschappelijk bewijs. Zo beschrijven zij hoe onderzoekers door middel van conversaties met vakgenoten tot conclusies komen over wat er daadwerkelijk te zien is in ruwe data. Die conclusies worden volgens hen middels “montage” vastgelegd in een visueel object en zo getransformeerd tot “bewijs” dat klaar is voor publicatie (Amann en Knorr Cetina 1988: 163).

Een dergelijke constatering heeft belangrijke gevolgen voor hoe naar afbeeldingen in wetenschap gekeken moet worden. Amann en Knorr Cetina maken een duidelijk onderscheid tussen de functie van afbeeldingen binnen en buiten de deuren van het laboratorium. Binnen het lab zijn het flexibele objecten die gezamenlijk bestudeerd en geanalyseerd worden, terwijl buiten het lab afbeeldingen als persuasief bewijs moeten functioneren. Het resultaat is “an image *by design*” (Knorr Cetina en Amann 1990: 280). Hun conceptuele handvatten om deze veranderende functies van het beeld in wetenschap te ontrafelen zijn uiterst bruikbaar om de rol van afbeeldingen in kennisconstructie te bestuderen. De afbeelding zien zij als venster waardoor de totstandkoming van de afbeeldingen kan worden waargenomen: “treat images as self-contained subjects that carry the analysis of an event within them” (Knorr Cetina en Amann 1990: 262). Zij betitelen deze beeldanalytische methode met de metafoer “image dissection”: “the work of image analysis brings the outside of the image into it and takes the inside out” (259). Toekomstige publicatiecontexten, maar ook processen in het laboratorium worden belichaamd in de afbeelding (264). Deze

⁶ Klaus Amann en Karin Knorr Cetina beschrijven deze onderzoeksmethodologie als volgt: “Laboratory studies are based upon *in situ* observations of scientists at work in their laboratory and upon other ethnographic methods” (Amann en Knorr Cetina: 1988: 165).

uitgangspunten sluiten aan op de insteek van dit onderzoek om met beeldanalyse niet alleen het uiterlijk, maar ook de constructie en functies van visuele representaties in het onderzoeksproces te analyseren. Alleen uiterlijke analyse doet onvoldoende recht aan de gelaagdheid van wetenschappelijke afbeeldingen. Horst Bredekamp – een van de grondleggers van de in het Duitstalige veld ontwikkelde onderzoekstak Bildwissenschaft – ziet vanwege die gelaagdheid afbeeldingen als autonome objecten, die als zodanig een bijdrage kunnen leveren aan filosofische en technische discussies (Bredekamp 2004: 21). De afbeelding is dus geen afgeleide of illustratie, maar een “aktive Träger des Denkprozesses” (Bredekamp 2005: 24).

Richting een procesbenadering van visualisaties

De gelaagdheid die zowel Bredekamp als Knorr Cetina en Amann toekennen aan wetenschappelijke afbeeldingen vraagt om benadering die hieraan rekenschap van geeft. In zijn raamwerk voor het bestuderen van visuele praktijken in wetenschap geeft communicatiewetenschapper Luc Pauwels aan dat de dilemma's die wetenschappelijke afbeeldingen met zich meebrengen – in het geval van dit onderzoek dilemma's als schoonheid en beeldmanipulatie – niet onderzocht kunnen worden door enkel beeldanalyse:

“If one considers scientific representations and the ways in which they can foster or thwart our understanding, it is a mere *object* approach, which would devote all attention to the representation as a free-standing product of scientific labor, is inadequate” (Pauwels 2006b: 21).

In plaats daarvan pleit Pauwels voor een procesgeoriënteerde benadering: “each visual representation should be linked with its context of production. Moreover it cannot be understood sensibly outside a particular and dynamic context of use, re-use, and reception” (ibidem). Door een grondige analyse van maakprocessen en de verspreiding van visualisaties naar andere publiekscontexten wordt het ook mogelijk te reflecteren op deze processen. In deze reflexieve houding naar de maakprocessen en verschillende gebruikscontexten zit de visueel geletterde onderzoeker verscholen volgens Pauwels (ibidem: 22).

Mijn insteek is specifiek gericht op het verkennen van de gebruikte beeldtechnieken met een specifieke focus op het manipuleren van beeld en het gebruik van softwarematige filters in de nabewerking van afbeeldingen. Juist door de technische mogelijkheden en beperkingen in ogenschouw te nemen wordt duidelijk in welke functies beeldingrepen hebben, in welke mate deze geoorloofd zijn en op welke manier deze een noemenswaardige rol spelen in kennisconstructie. De relatie tussen beeldtechnologie en onderzoeker in de constructie van kennis staat centraal in de volgende sectie.

3.2 Werken in het beeld: Beeldconstructie in de Soft Matter CryoTEM Research Unit

De nucleatietheorie “op zijn kop”

De casestudy is in de voorgaande hoofdstukken al de revue gepasseerd om hun verhouding tot schoonheid in het onderzoeksproces te beschrijven en om een beeld te schetsen van hoe *Science* met coverafbeeldingen omgaat. Naar aanleiding van het artikel in *Science* verscheen een *spread* in het wetenschapskatern van *NRC Handelsblad* over de bevindingen van de Soft Matter CryoTEM Research Unit met de welluidende ondertitel “Nederlandse chemici stellen de oude theorie over kristalvorming bij” (van Nieuwstadt 2010: 7). De groep heeft aangetoond dat de beginstadia van kristalgroei bij calciumcarbonaat, het materiaal waarvan bijvoorbeeld schelpen zijn gemaakt, op een andere manier geschiedt dan tot dusver gedacht. Zoals Sommerdijk in *NRC* de ontdekking samenvat: “De kristallisatiekernen ontstaan uit de zogeheten pre-nucleatieclusters, en niet uit individuele ionen. Met dat inzicht wordt de nucleatietheorie, de theorie die het ontstaan van kristallen beschrijft op zijn kop gezet” (ibidem). Dit hebben ze onderzocht door de groei van kristallen na te bootsen. Die nabootsing van natuurlijke materialen is interessant, zo betoogt Sommerdijk, om in de toekomst materialen te ontwikkelen die dezelfde voordelen hebben als sommige materialen die in de natuur voorkomen. De groep focust op materialen die “een combinatie zijn van harde en zachte elementen, zoals botten, tanden en schelpen. Zulke materialen hebben ongelooflijk mooie eigenschappen, ze zijn veel sterker en preciezer dan de meeste materialen die de mens kan maken” (Sommerdijk 2010). In *NRC* stelt Sommerdijk dat de inzichten uit hun onderzoek uiteindelijk tot betere artificiële implantaten en botvervangers kunnen leiden: “Als je beter begrijpt hoe botten in cellen worden gemaakt, dan ben je ook beter in staat om de werkelijke moleculaire structuur in artificiële botten te benaderen” (van Nieuwstadt 2010: 7). Om de kristalgroei van calciumcarbonaat te bestuderen hebben zij een sample op een koolstoffilm aangebracht die transparant is voor de elektronenmicroscop. Vervolgens zijn de verschillende groeistadia van de kristallen in een tijdslijn driedimensionaal in beeld gebracht.

Tijdens het laboratoriumbezoek aan de onderzoeksgroep is dit onderzoeksproces doorlopen met onderzoeksleider dr. Nico Sommerdijk met daarbij een speciale focus op de functie van beeldinstrumenten en beeldingrepen in het proces van deze ontdekking. In het onderstaande wordt het onderzoeksproces uiteengezet om zo te komen tot stelling dat binnen de legitieme kaders van wetenschap beeldingrepen in ruwe data essentieel zijn voor het onderzoeksproces. De titel van het *Science* artikel, “The Initial Stages of Template-Controlled CaCO₃ Formation Revealed by Cryo-TEM,” draagt al impliciet de eer van de ontdekking over aan de gebruikte beeldtechnologie,

cryoTEM. Verschillende beeldinstrumenten zullen worden belicht door naar hun functie in het onderzoek te kijken.

In het kort: de cryoTEM technologie heeft grote voordelen ten opzichte van conventionele TEM omdat de onderzoekssamples een langere houdbaarheid hebben en daarmee betere betrouwbaarheid. Beeldingrepen door middel van geavanceerde softwarematige filters lichten belangrijke informatie in de afbeeldingen uit, en de driedimensionale constructie middels cryogenic electron tomography (cryoET) maakt het mogelijk om de ruimtelijke ordening van de beginstadia van kristalgroei te bepalen. Deze drie beeldprocessen worden in het onderstaande uitgebreider in kaart gebracht.

CryoTEM om ongewenste artefacten te reduceren en tijd te winnen

Cryogene transmissie-elektronenmicroscopie (CryoTEM) is een ontwikkeling binnen transmissie-elektronenmicroscopie (TEM) die een fundamenteel probleem met TEM vermindert, het beschadigen van onderzoeksobjecten door straling van de microscoop. Om dit probleem toe te lichten is allereerst een beschrijving van de werking van TEM nodig.

Tegenover andere populaire beeldtechnieken in nanotechnologie, zoals de scanning tunneling microscope (STM) en de atomic force microscope (AFM) die gericht zijn op het verkennen van oppervlaktes op nanoniveau, wordt TEM binnen nanotechnologie gebruikt om de structuur en vorm van objecten op nanoniveau in beeld te brengen (Friedrich et al. 2010). In de basis bestaat een TEM uit drie compartimenten: de elektronenbron, het systeem dat de afbeelding produceert en het systeem dat de afbeelding vastlegt (Croft 2006: 58). Binnen ieder van deze onderdelen kunnen factoren gecontroleerd worden door de beeldmaker.

Het eerste compartiment, dat zich bovenin het instrument bevindt, is de elektronenbron. Wanneer de elektronen de kathode en het schild verlaten, passeren deze de anode met een constante energie. Deze energie is gerelateerd aan de golflengte van de elektronen, die uiteindelijk de “optical properties” - zoals Croft deze typeert - van het instrument bepalen (Croft 60). De golflengte is omgekeerd evenredig gekoppeld aan het voltage dat onderzoekers instellen: wanneer het voltage omhoog gaat, neemt de golflengte van de elektronen in nanometers af en vice versa. Deze golflengte van elektronen bepaalt de resolutie van de afbeeldingen. De condensorlenzen zorgen er vervolgens voor dat de elektronenstraal focust op het object van onderzoek dat in de les is geplaatst. Door de afstand tussen condensorlenzen in dit systeem te variëren kan de intensiteit van de elektronenstraal veranderd worden.

De elektronenbundel die is gevormd bereikt dan het preparaat in het tweede compartiment dat Croft beschrijft als het “image producing system” (61). Hier passeren de elektronen het dunne preparaat, de sample van het onderzoeksobject. De elektronen die doorgelaten worden, produceren

een projectiebeeld van het preparaat in het objectief. Daar komt dus de feitelijke afbeelding tot stand. Deze kan worden vergoot met projectorlenzen. Aangezien het menselijke oog elektronenafbeeldingen niet direct kan waarnemen, moet deze afbeelding geconverteerd worden naar zichtbaar licht. De oudste methode is om aan de onderkant van de microscopische schacht een scherm met fluorescerend materiaal te plaatsen. Dit scherm kan met behulp van een extra optische microscoop vervolgens bekeken worden. Om een hogere resolutie toe te laten, komen de elektronen op een fotografische plaat terecht om zo een negatief te veroorzaken dat groter afgedrukt kan worden (62).

In conventionele TEM zoals sinds de jaren veertig gebruikt, worden organische materialen gedroogd voordat ze zichtbaar gemaakt kunnen worden. Naast het drogen wordt vaak een kleurreagens toegevoegd om het contrast te verhogen. In een publicatie van de onderzoeksgroep waarin de beeldtechnologie van de groep in detail wordt uitgelegd leggen zij de problemen van die conventionele technologie uit. Het gevolg van deze handelingen is namelijk dat de structuur en morfologie van de sample ingrijpend kunnen veranderen, wat weer grote gevolgen heeft voor de manier waarop de hieruit voortkomende visualisatie geïnterpreteerd kan worden (Friedrich et al. 2010). Zoals in het interview geformuleerd: “er zijn ineens allemaal zaken zichtbaar die er eigenlijk niet zijn” (Sommerdijk 2010). Om die artefactvorming te voorkomen is zo’n twintig jaar geleden een techniek geïntroduceerd waarin de sample in zeer korte tijd bevriest door toevoeging van vloeibaar ethaan, dat een temperatuur heeft van $-183\text{ }^{\circ}\text{C}$:

N.S.:

“Wat er gebeurt is dat de deeltjes in de oplossing blijven zitten op de plek waar ze zaten. Ze krijgen geen tijd om te veranderen en zelfs het water krijgt geen tijd om ijskristallen te vormen. Het water transformeert dus in een soort glasvorm. Dat glas is transparant voor de elektronenbundel. Dus je hebt een heel dun glasfilmje met daarin het te onderzoeken monster. Je kunt dan alle tijd nemen om naar de te onderzoeken deeltjes te kijken. Zolang dit koud blijft, blijft alles namelijk op de juiste plek zitten” (Ibidem).

De winst met deze cryoTEM techniek is dus zowel de tijdsduur dat samples bestudeerd kunnen worden als het feit dat samples bestudeerd kunnen worden in “a state of preservation that is close to native” (Nudelman et al. 2011: 18). Alvorens in te gaan op de toepassingen van deze overwonnen restricties door de verbeterde preservatie van samples worden eerst de beeldingrepen met behulp van softwarematige filters in kaart gebracht. Deze zijn gebruikt om de vroege minuscule pre-nucleatie clusters zichtbaar te maken in de *Science*-publicati van de groep.

De mogelijkheden en beperkingen van filters en beeldingrepen als analytische tools

In hoofdstuk 1 werd al kort de gedachte aangehaald dat beeldingrepen in ruwe data zoals softwarematige filters niet eenzijdig beschouwd moeten worden vanuit een perspectief van ontoelaatbare manipulatie. De werkwijze van de casestudy in het werken met afbeeldingen laat zien dat gebruikte filters veelal complexer zijn dan de Photoshop-ingrepen waarover gesproken wordt in editorials. Bovendien hebben de ingrepen niet alleen esthetische, maar ook analytische functies voor het onderzoek. Het reduceren van ruis in de afbeeldingen is iets dat achteraf gebeurt en niet tijdens de microscopische opnames. Er wordt hier echter geen gebruik gemaakt van Photoshop benadrukt de onderzoeksgroep. In plaats daarvan gebruiken zij het programma MATLAB: “Dat gaat verder dan Photoshop. Het zijn wiskundige algoritmen die worden losgelaten op afbeeldingen. Die algoritmen ‘kijken’ naar een vraag als “indien deze pixel donkerder is dan die, wat dan te doen?””(Sommerdijk 2010). Dit kan geïllustreerd worden aan de hand van een afbeelding uit de *Science*-publicatie van de groep.

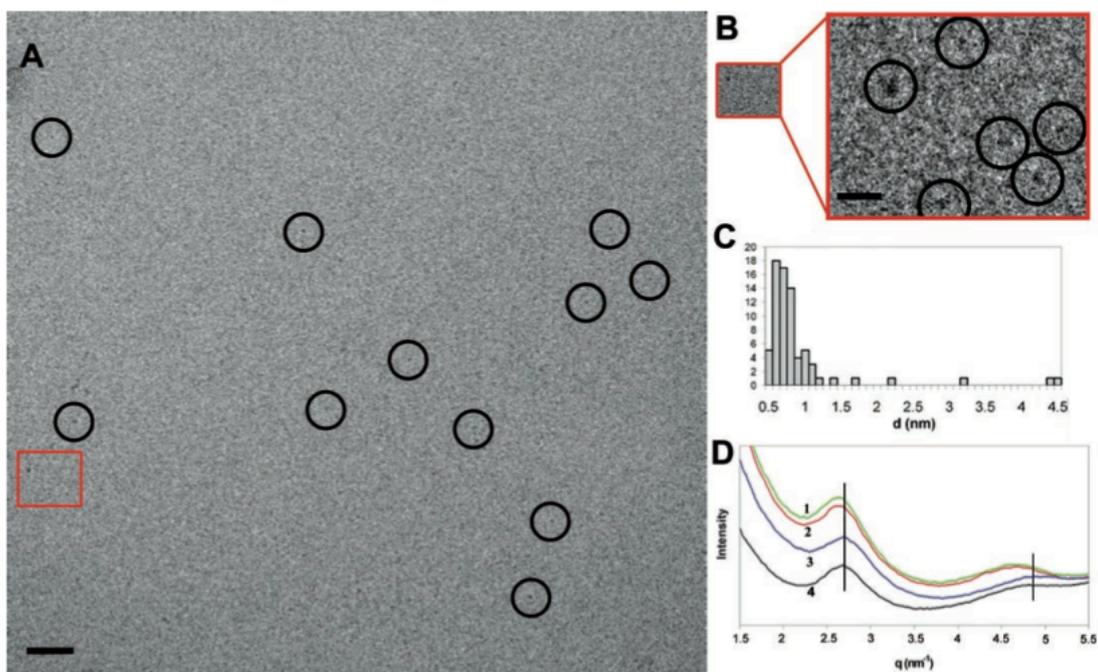


Fig. 1. (A) High-resolution cryo-TEM image of a fresh 9 mM $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ solution after image processing (15) in which pre-nucleation clusters are observed. An arbitrary number of clusters are highlighted by black circles. Scale bar, 20 nm. (B) Nonfiltered images representing the zone delimited by the red square in (A). In the high-magnification image, all particles present are highlighted by black circles. Particle sizes below the detection limit of 0.45 nm (3 times the pixel size) are considered noise. Scale bar, 5 nm. (C) Particle diameter (d) distribution of the pre-nucleation clusters observed in the cryo-TEM images. (D) Radial integration of the diffraction patterns of vitrified aqueous solutions of (1) ACC (green), (2) 9 mM $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ (red), (3) water (blue), and (4) 10 mM CaCl_2 (black). Vertical (black) lines are drawn to indicate the shifts of the diffraction rings of the different samples with respect to that of a vitrified film of pure water.

Figuur 12 Afbeelding afkomstig uit de *Science*-publicatie van de groep. Afbeelding A is een gefilterd en afbeelding B een ongefilterde uitvergroting (Sommerdijk et. al. 2009: 1456).

In figuur 12 is links een gefilterde afbeelding te zien waarop een *anisotropic linear filter* en een *sharpening filter* zijn toegepast in MATLAB 2007b (Pouget et al. 2009b) en rechts een ongefilterde uitvergroting. Deze anisotropische filters worden gebruikt om ruis te reduceren in afbeeldingen,

maar gaan verder dan simpelweg esthetische ingrepen, zo beargumenteert computer scientist Joachim Weickert:

"anisotropic diffusion deserves to be regarded as much more than an ad-hoc strategy for transforming a degraded image into a more pleasant looking one. It is a flexible and mathematically sound class of methods which ties the advantages of two worlds: scale-space analysis and image restoration" (Weickert 2008: 136).

De anisotropische filter is dus tegelijkertijd een middel voor *computer vision* gestuurde beeldanalyse als beeldbewerking. Vooraf gedefinieerde visuele elementen - zoals in het geval van de casestudy de pre-nucleatieclusters - worden gedetecteerd en uitgelicht door verscherping, terwijl de resterende beeldruis door *smoothing*-technieken naar de achtergrond gebracht wordt.

Aan de hand van het interview kunnen aan de filters in dit onderzoek twee functies worden ontleed, een analytische en een communicatieve. De analytische functie betreft de interpretie van ruwe data: "Het filteren van data kan je als onderzoeker helpen bij het interpreteren van data om een onderscheid te maken tussen wat wel en niet iets is" (Sommerdijk 2010). Filters functioneren als analytische tool om te bepalen wanneer pixels losse ionen zijn of pre-nucleatieclusters:

N.S.:

"Ergens moet een grens getrokken worden. Dat is lastig, want die grenzen zijn soms geleidelijk, en dan moet er een beslissing genomen worden. Filteren kan je helpen om iets dat van donkergrijs naar lichtgrijs verloopt zichtbaar te maken (...) dit [red. de linkerafbeelding in figuur 12] had ik nooit gekund met een ongefilterd plaatje. Dan zou je er niets meer van terug zien" (ibidem).

Microscopisten zijn getraind in het kijken naar dergelijke velden van grijswaarden. Voor buitenstaanders en non-experts is dat lastiger. Filters hebben daarom ook de communicatieve functie om niet-experts te laten zien wat in een afbeelding getoond wordt ⁷.

⁷ Wanneer gesproken wordt over non-experts is het belangrijk op te merken dat het grootste deel van het publiek voor deze materie uit non-experts bestaat omdat de onderzoeksgroep zich begeeft in een kleine niche tussen chemie en biologie. In het interview wordt daarover het volgende gesteld:

N.S.:

"Mijn wetenschappelijk veld is over het algemeen klein, dus ik moet mijn verhaal eigenlijk altijd vertellen tegenover niet-specialisten." Het onderscheid in de manier waarop visualisaties vorm krijgen tussen publiekscontexten is daarom fluïde: "ik merk dat de aanpassingen die ik voor bijvoorbeeld scholieren aanbreng in het verhaal ook in de presentaties van andere contexten verwerk, omdat ze het proces simpelweg inzichtelijker maken. De aanpassingen komen dus ook bij het specialistische publiek terecht. Ook specialisten vinden het fijn om af en toe een herkenningmoment te hebben in een presentatie, een globale point of view" (Sommerdijk 2010).

De kennis die geabstraheerd kan worden uit een gefilterde afbeelding is overigens wel degelijk gelimiteerd. Daarom wordt in de publicatie van *Science* zowel een gefilterde als ongefilterde afbeelding opgenomen.

N.S.:

"Als deze ruwe data vanuit de gefilterde versie zou worden uitvergroot, zouden vooral digitale artefacten van het filterproces zichtbaar worden. Zogenaamde afrondingsartefacten van de software. Filters zijn goed om bij lage vergrotingen iets te laten zien, maar bij hoge uitvergrotingen zou men meteen zien dat er aan gesleuteld is. Daarom wordt bij hoge vergroting de ruwe data getoond. Hierdoor zijn in de hoge vergroting duidelijk verdichtingen zichtbaar, dat sommige stukken donkerder zijn dan andere, wat erop wijst dat daar een proces van clustering gaande is" (Sommerdijk).

Er zit daarom ook een spanning tussen de rol van filters als ondersteuning voor interpretatie en mogelijkheden van gefilterde afbeeldingen om als bewijs te functioneren. Filters sturen de blik, maar in een uitvergroting van een gefilterde afbeelding worden de data onbruikbaar voor analyse en bewijsvoering, omdat dan alleen digitale filterartefacten bekeken worden.

Uiterlijke gevolgen van het bedienen van de cryoTEM

Hoewel nabewerking het uiterlijk van microscopische afbeeldingen beïnvloedt, zijn keuzes in de bediening van de microscoop van grote invloed op de kwaliteit van afbeeldingen:

N.S.:

"In het apparaat maak je ook veel keuzes. Zo beschadigt de elektronenbundel het monster. Daarom moet je een afweging maken tussen twee uitersten: of je verkrijgt heel gedetailleerde informatie met als keerzijde een aangetast monster, of je neemt genoegen met minder informatie, maar wel met een intact monster waarvan het waarheidsgehalte groter is. Dat is de belangrijkste beslissing die genomen moet worden. Er zijn een aantal knoppen op het apparaat om dit te optimaliseren. Het gaat er ons altijd om, om samples zo lang mogelijk intact te houden, zodat je er zo lang mogelijk informatie uit kunt halen" (Sommerdijk 2010).

Anders dan in de historische studie naar elektronenmicroscopie door Nicolas Rasmussen geschetst wordt⁸ is hier geen sprake van een bijna automatische piloot modus waarin de microscopist belandt bij het maken van opnames:

N.S.:

“ieder type materiaal dat je onderzoekt is weer helemaal nieuw met specifieke eigenschappen. Instellingen moet dus altijd gewijzigd worden. Er zijn wel grove richtlijnen, maar je moet bij iedere nieuwe sample weer een gevoel ontwikkelen in de mate van elektronen die je doorlaat” (Sommerdijk 2010).

De moleculaire samenstelling van samples staat per type materiaal een andere unieke doses elektronen toe die losgelaten kunnen worden zonder de sample te beschadigen. Binnen de onderzoeksgroep is dat een complex vraagstuk omdat zij zowel technieken uit de biologie gebruiken als material science combineren in biomineralisatie. Daarom is één dag per week een technicus van FEI Instruments⁹ aanwezig, een expert op het gebied van materiaalkennis die ook regelmatig achter de microscoop zit:

N.S.:

“Dit samenkomen gebeurt in een cryogene omgeving met alle randvoorwaarden die te maken hebben met elektronendoses. Daarom hebben we altijd iemand nodig die precies weet wat je wel en niet kunt doen met een sample. Maar ook wat je kunt concluderen uit bepaalde signalen, omdat wij nooit de goede signalen krijgen. Wij krijgen altijd ruizige signalen, omdat we lage doses elektronen moeten gebruiken” (ibidem).

Samengevat is de analyse van tweedimensionale cryoTEM afbeeldingen complexe materie waarbij constant afwegingen gemaakt moeten worden. Zowel beeldingrepen in de microscoop als filters achteraf kunnen de interpretatie aanzienlijk ondersteunen. Tegelijkertijd kunnen beide ook de waarachtigheid van de ruwe data aantasten. Problematische beeldingrepen hoeven overigens niet alleen plaats te vinden in softwarematige beeldingrepen. Zoals duidelijk is geworden kan misinterpretatie door stralingsbeschadiging van samples ook bij de bediening van cryoTEM plaatsvinden.

⁸ “As they become good at using it, microscopists begin increasingly to experience the instrument as an extension of their sense organs”(Rasmussen 1997: 229). Deze relatie tussen de wetenschapper en de microscoop typeert Rasmussen als een “embodiment relation”: “they enter into an embodiment relation with the microscope in that it becomes a ‘transparent’ window or vehicle for their experience of the world” (ibidem: 229- 230).

⁹ FEI Instruments is fabrikant van hun microscopische opstelling.

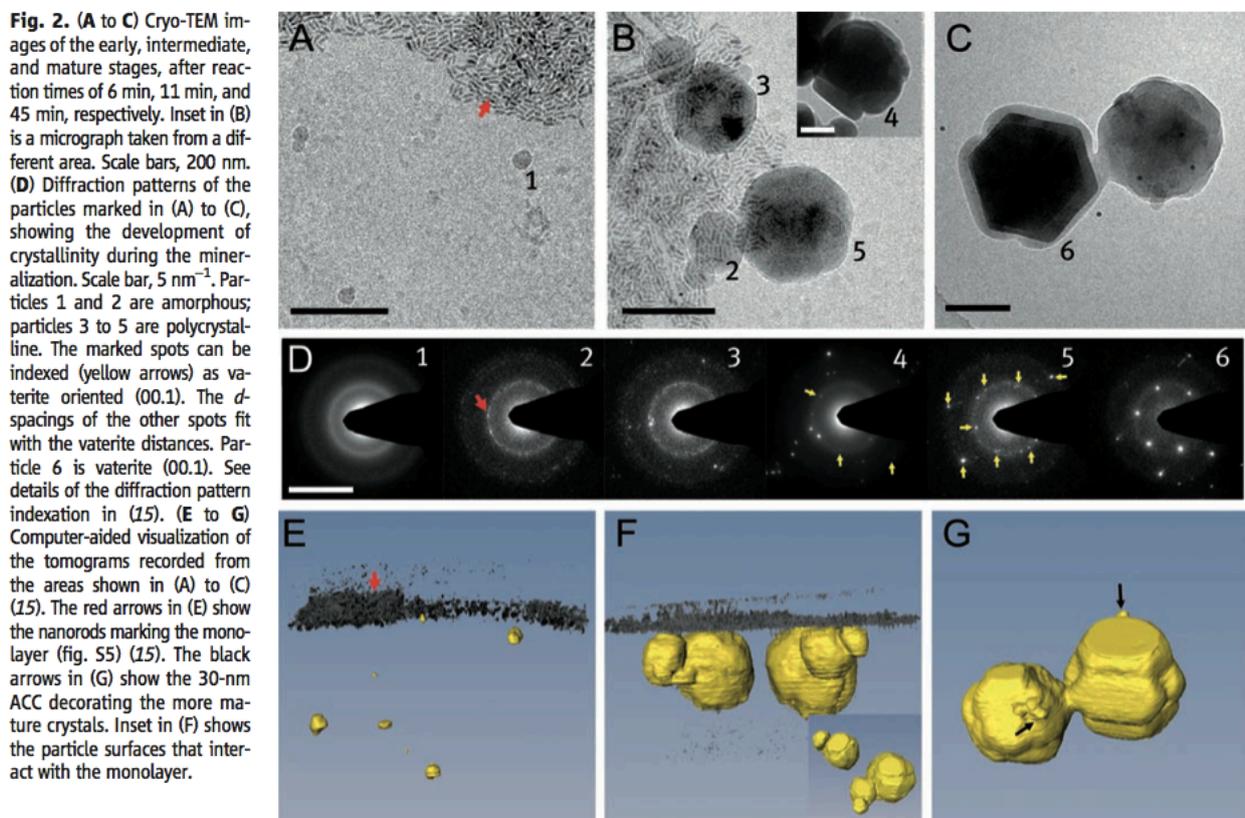
In de beschrijving van het maakproces is tot dusver gefocust op tweedimensionale afbeeldingen. Echter, voor de ontdekking die de onderzoeksgroep een voorpagina van *Science* opleverde ontbrak het de CryoTEM technologie om objecten driedimensionaal in beeld te brengen. De vertaling naar een driedimensionaal beeld staat in de volgende sectie centraal.

3D cryoET om de beginstadia van kristalgroei in beeld te brengen

Het tweedimensionale karakter van cryoTEM is een problematische beperking wanneer de ruimtelijke ordening van kristalkernen in de sample in kaart gebracht moet worden. In het interview wordt dit verduidelijkt aan de hand van een cryoTEM opname uit de *Science*-publicatie [figuur 13]:

N.S.:

“Hier [red. afbeelding A, B en C in figuur 13] hebben we een 2d projectie. Het kristal groeit onder het filmpje, dus dat is niet zichtbaar op deze afbeeldingen. Maar we weten niet of het er tegenaan zit of dat er ruimte tussenzit. Dat kunnen we in 2d niet zien. Met projecties moet je immers maar interpreteren wat je voor je ziet” (Sommerdijk).



Figuur 13 Afbeelding uit de *Science*-publicatie van de casestudy. A, B en C tonen cryoTEM opnamen, D de diffractiepatronen en E, F en G de driedimensionale volumes uit de cryoET opnamen (Pouget et al. 2009: 1457).

Om dit probleem te overkomen wordt een driedimensionale representatie geconstrueerd, een techniek die cryogenic electron tomography (cryoET) heet. Van die opnames kan uiteindelijk een grafische driedimensionale visualisatie gemaakt worden, zoals in figuur 13 de afbeeldingen E, F en G¹⁰. Dit proces van cryoET wordt in het interview als volgt beschreven:

N.S.:

“Om dit te vertalen naar een driedimensionale projectie maken we ongeveer honderd opnames vanuit verschillende hoeken. Dit gebeurt door de sample in de elektronenschicht te kantelen. Die honderd afbeeldingen kunnen worden teruggerekend naar een volume. In het volume kunnen we in de z richting er doorheen kijken, dat wil zeggen we kunnen slices zien van het volume. En uiteindelijk kunnen we dat volume visualiseren“ (Ibidem).

Zoals in de vorige sectie al naar voren kwam is de elektronendosis altijd - ook in de cryogene omgeving - een dilemma tijdens het werken met zachte materialen. Bij cryoET is dit een nog groter probleem omdat de sample veelvuldig blootgesteld wordt aan straling, aangezien herhaaldelijke opnames noodzakelijk zijn voor een driedimensionale reconstructie (Nudelman 2011: 21). De microscopist moet daarom een afweging maken in de “signal-to-noise ratio” (ibidem). Een lagere elektronendosis voorkomt beschadiging, maar maakt de opname ook minder scherp, wat van invloed is op de interpretatie van de driedimensionale reconstructie. Om de schade te beperken kan de microscopist besluiten de tomografie op te bouwen uit een kleiner aantal opnames, maar dit veroorzaakt weer een lagere resolutie en onvolkomenheden in de reconstructie. Het feit dat het bij de driedimensionale grafische visualisatie gaat om een interpretatie van bestaande afbeeldingen en niet om ruwe data zelf, wordt ook expliciet gemaakt in een overzichtsartikel van de onderzoeksgroep over cryoET: “One ought to be careful, however, since the visualization may be subjective in that it is our own interpretation of the tomogram, and therefore it is always necessary to relate to the original dataset” (Nudelman 2011: 21).

Ondanks deze dilemma's in cryoET wordt ook duidelijk gemaakt dat de informatie afkomstig uit deze driedimensionale reconstructie tot belangrijke conclusies heeft geleid over de manier waarop pre-nucleatieclusters zich ruimtelijk verhouden tot de koolstoffilm in het preparaat. Met behulp van de driedimensionale weergave kon de groep aantonen dat “groeikernen in een oplossing van calciumcarbonaat niet ontstonden aan het oppervlak waar biomineralen worden gevormd, maar in de vloeistof zelf” (van Nieuwstadt 2010). Daarmee heeft een reconstructie, hoewel

¹⁰ De gebruikte software is voor deze grafische reconstructies in de casestudy is Amira 4.1.0 van Mercury Computer Systems.

mogelijk beperkt door resolutieproblemen en subjectiviteit, toch een essentiële rol gespeeld in de productie van nieuwe kennis.

Uit deze bestudering van de concrete functies van beeldmanipulatie en beeldreconstructies in het onderzoek van de casestudy wordt duidelijk dat door in en met ruwe data te werken nieuwe kennis aan de oppervlakte kan komen. Dit idee van wetenschappelijke afbeeldingen als 'tools' voor het genereren van wetenschappelijke kennis is niet nieuw (vgl Daston en Galison 2007). Echter, niet alleen afbeeldingen, ook filters en beeldingrepen zijn te zien zijn als waardevolle research tools. De volgende sectie plaatst de bovenstaande bevindingen uit het maakproces in een breder vraagstuk naar de epistemologische status van beeldingrepen in wetenschap.

3.3 Beeldfuncties

In de vorige paragraaf kwam duidelijk naar voren hoe beeldingrepen gedurende het hele maakproces van beelden in de casestudy plaatsvonden. In de creatie van ruwe data is de afweging van de sterkte van de elektronenbundel cruciaal in het vormen van contrastrijke afbeeldingen, softwarematige filters achteraf bepalen mede waar de microscopist ionenclusteringen kan zien en alleen met een virtuele driedimensionale tomografie is de ruimtelijke ordening van moleculen in de sample te bepalen. Kortom, tegenover de verwerping van iedere vorm van beeldingrepen door de eerder genoemde academische tijdschriften staat een onderzoeksrealiteit van beeldbewerking als noodzakelijk middel om kennis te abstraheren uit ruwe data. Die onderzoeksrealiteit roept vragen op over hoe beeldingrepen en beeldfuncties in de casestudy te begrijpen zijn in relatie tot bestaande noties over representatie in wetenschap.

Afbeeldingen als gelijktijdige representatie en research tool

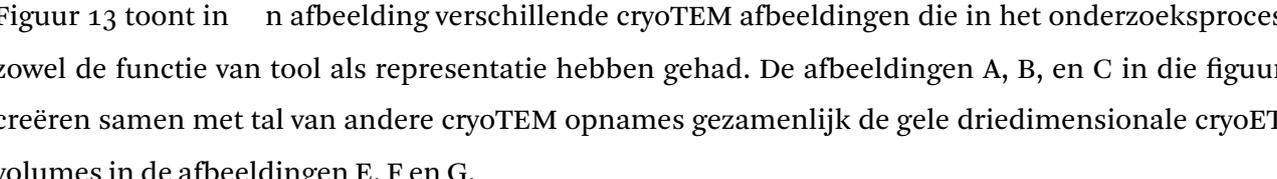
De hierboven beschreven manier waarop afbeeldingen gebruikt en geconstrueerd worden in de onderzoekspraktijk van de casestudy geeft handvatten om de beeldfuncties verder te theoretiseren. Een van de bevindingen uit de bestudering van de casestudy is dat afbeeldingen en vertalingen naar nieuwe afbeeldingen een cruciaal onderdeel zijn van het onderzoeksproces. De afbeeldingen hebben niet alleen de functie de onderzoeksobjecten zo getrouw mogelijk weergeven, maar ook om kennis over de objecten weer te geven. Zo kan met driedimensionale cryoET een model gemaakt worden van de ruimtelijke ordening van moleculen. Dit model representeert wat betreft kleur en structuur niet zozeer hoe de objecten er daadwerkelijk uit zien, maar geeft in plaats daarvan relevante informatie over hoe moleculen zich positioneren ten opzichte van de koolstoffilm. Pas door ingrepen in het beeld, hetzij door softwarematige filters of door vertalingen naar een driedimensionaal beeld komt betekenisvolle informatie aan de oppervlakte. De afbeelding lijkt dus

net zo goed onderzoeksobject te zijn geworden als het oorspronkelijke onderzoeksobject.

Die veranderende relatie tussen representatie en onderzoeksobject lijkt te culmineren in recente studies over nanotechnologie waarin benadrukt wordt dat het zien van objecten in deze nanowereld niet te vangen is binnen het traditionele begrip van representeren. Verschillende criticasters stellen dat deze nieuwe manieren om onderzoeksobjecten in beeld brengen de status van deze afbeeldingen wijzigt. Zo stelt techniekfilosoof Joseph C. Pitt dat de manier waarop we atomen zien met behulp van beeldinstrumenten als TEM en SEM radicaal anders is dan de manier waarop we bijvoorbeeld een boom zien (Pitt 2004: 157). De complexe datavertalingen van elektronenweerkaatsing, maar ook samplebeschadiging door de straling maken dat onderzoekers volgens Pitt komen tot “a consensus on what a good image looks like, even though it is not an image in the earlier, pre-electron microscope, sense” (Ibidem: 162). Gevoed door het idee dat dit onnatuurlijke ingrepen in de sample zijn, zouden deze beeldinstrumenten bovendien bestaande betekenissen van de begrippen “scientific observation,” “evidence” en “experiment” problematisch veranderen (Ibid: 163). Een vergelijkbaar probleem wordt door image scientist Chris Robinson gearticuleerd, die stelt dat door de “reckless culture of image manipulation” in nanotechnologie verwarring ontstaat over wat feit en fictie is in afbeeldingen op nanoniveau (Robinson 2004: 165-169). Wat beide kritieken tekent is een te eenzijdige invulling van het begrip representatie als een streven naar mimesis. Dit streven komt niet overeen met de wetenschapspraktijk zoals onder andere aan de hand van de bovenstaande casestudy beschreven.

Lorraine Daston en Peter Galison hebben nanotechnologie aangegrepen om een verschuiving richting een nieuw type wetenschapsbeoefening te beschrijven. Van *representatie* naar *presentatie*: “representation is always an exercise in portraiture, albeit not necessary one in mimesis. The prefix *re-* is essential: images that strive for representation present again what already is” (Daston en Galison 2007: 382). Dit is niet het geval bij wat Daston en Galison *presentation* noemen. Zij signaleren die verschuiving in nanotechnologie waarbij onderzoekers niet zozeer gericht zijn op het kopiëren van dat wat bestaat, maar eerder op de “coming-into-existence” van onderzoeksobjecten middels beeldtechnologie (Ibidem: 383). Meer dan *image-as-evidence* moet dit nieuwe type wetenschappelijke beelden gezien worden als *image-as-tool* (Ibid: 385). Zien wordt maken (Ibid: 382). Dit is nog sterker het geval wanneer atomen direct gemanipuleerd worden in wat zij beschrijven als *haptische* technologieën zoals de scanning probe microscope (SPM). Maar ook in die inherent manipulatieve technologie worden gradaties van objectiviteit verkend door Daston en Galison. In plaats van dit als “reckless culture of manipulation” af te doen zoals Robinson dit doet, worden interactieve virtuele en haptische afbeeldingen - ontdaan van de bewijsfunctie die samenhangt met mimetische doelen van representatie - ingezet als research tool. Daarmee verwordt de afbeelding tot een hybride van “simulation, mimesis [and] manipulation” (Daston en Galison 2007: 414).

Een vergelijkbaar hybride karakter van wetenschappelijke afbeeldingen is eerder door

wetenschapshistoricus Hans-Jörg Rheinberger gevangen door een onderscheid te maken tussen “technical objects” en “epistemic things” (Rheinberger 1997). Epistemic things beschouwt hij als de onderzoeksobjecten, en technical objects staan voor de experimentele setting: het amalgaam aan wetenschappelijke instrumenten waarmee en waarbinnen epistemic things in beeld gebracht kunnen worden (Ibidem: 28-29). Belangrijk aan zijn benadering is dat epistemische dingen op het moment dat deze stabiliseren kunnen verworden tot technische objecten en vice versa: technische objecten kunnen verworden tot epistemische dingen, onderzoeksobjecten. In de casestudy is een dergelijke transitie te zien in de transformatie van individuele cryoTEM afbeeldingen naar driedimensionale cryoET. Individuele scans verworden tot technische objecten, gereedschappen om een driedimensionale constructie te vormen. Die verschuivingen zijn echter verre van absoluut. Figuur 13 toont in  n afbeelding verschillende cryoTEM afbeeldingen die in het onderzoeksproces zowel de functie van tool als representatie hebben gehad. De afbeeldingen A, B, en C in die figuur creëren samen met tal van andere cryoTEM opnames gezamenlijk de gele driedimensionale cryoET volumes in de afbeeldingen E, F en G.

STS onderzoekers Sarah de Rijcke en Anne Beaulieu hebben in de context van MRI scans, die overigens net als cryoET tomografieën zijn, getypeerd als interfaces: “they serve to open up a range of possibilities, rather than to stand in as a fixed representation” (de Rijcke en Beaulieu 2012, in druk). Zij zien het als interfaces die binnen een genetwerkte onderzoeksomgeving van software, beeldinstrumenten en schermen opereren in “suites of technology,” waar nieuwe vormen van visuele kennis tot stand kunnen komen (ibidem). Visualisaties zijn dus te zien als een ingang naar verdere beeldoperaties en kennis. Dat hersenscans ingebed zijn in *suites of technology* maakt dat we ze volgens Beaulieu en de Rijcke niet moeten beschouwen als “an end point in a representational chain or as an immutable mobile” (ibidem). Impliciet suggereert dit dat scans in hun genetwerkte hoedanigheid en als schakel in een proces bestudeerd moeten worden.

Elders stelt de *The Virtual Knowledge Studio*¹¹ naar aanleiding van Rheinbergers bovenstaande onderscheid tussen technical objects en epistemic things de terechte vraag: “Does it become more difficult to distinguish experimental objects from technological objects when they are in a similar medium, when the technologies and their content are continuous?” (*The Virtual Knowledge Studio* 2008: 330). De gelijktijdigheid van deze functies in hedendaagse digitale en genetwerkte onderzoeksomgevingen, maakt ook dat het vraagstuk naar beeldmanipulatie complexer wordt. Dit is zeker het geval op het moment dat uit beeldmanipulatie nieuwe kennis gegenereerd wordt. Exemplarisch daarvoor is het gebruik voor softwarematige beeldfilters op ruwe data in de casestudy.

¹¹ Zowel Anne Beaulieu als Sarah de Rijcke zijn ook aan *The Virtual Knowledge Studio* verbonden.

Een alternatieve benadering van manipulatie: Filters als waardevolle research tools

De bovenstaande reflectie op de functie van afbeeldingen in het wetenschappelijke proces laat een wisselwerking zien tussen de rol van wetenschappelijke afbeeldingen als representatie en research tool. De ruwe data vormen een ingang voor verdere extractie van kennis uit het onderzoeksobject, zoals in de casestudy het gebruik van driedimensionale tomografieën van oorspronkelijk tweedimensionale cryoTEM beelden [figuur 13]. Werken in het beeld maakt nieuwe perspectieven en visuele kennis over anders niet in beeld te brengen informatie mogelijk. In deze sectie poneer ik als aanvulling op het *image-as-tool* concept van Daston en Galison de notie van softwarematige filters als onderzoeksgereedschap. De *filter-as-tool*. Het gebruik van beeldbewerkingssoftware wordt in tijdschriften als exemplarisch voor problematische beeldmanipulatie neergezet. Tegenover tijdschriften die aan filters louter esthetische of frauduleuze functies toeschrijven, laat de bovenstaande analyse van het gebruik van filters in de casestudy zien dat filters ingezet worden als tools om kennis te genereren.

Filters hebben in het geval van de casestudy ook een analytische functie die dichter bij *computer vision* staat. Mathematische filters geformuleerd in de software MATLAB detecteren in de casestudy ionenclustering in cryoTEM beelden die met het blote oog lastig te zien zijn. Die clustering wordt visueel uitgelicht door verscherping, terwijl beeldruis door *smoothing*-technieken naar de achtergrond gebracht wordt. Hoewel in bewerkte beelden ongewenste artefacten ontstaan wanneer uitvergroet, spelen de filters zoals in het interview naar voren kwam een belangrijke rol in het bepalen welke beeldelementen iets zijn en welke niets. Deze analytische functie van filters onttrekt dus nieuwe, anders niet toegankelijke informatie uit de afbeelding.

Voor James Elkins is dat ook de centrale functie van afbeeldingen in wetenschap: “it is expected that data can be extracted from them, that they contain measurable forms” (Elkins 2007: 40). Met beeldanalysesoftware kan de afbeelding ‘gekwantificeerd’ worden, zodat meetbare informatie uit de afbeelding ontgonnen kan worden (ibidem). Hoewel *image processing*-software veelal geassocieerd wordt met beeldmanipulatie en het mooier maken van afbeeldingen, stelt Elkins juist dat met beeldanalyse software uiterlijke eigenschappen van afbeeldingen verruild kunnen worden voor informatie: “scientific image analysis software packages are the equivalent of the exotic kinds of diggers that are used in large-scale strip mining: they are the most efficient way to strip away the “aesthetic” and get at the informational” (Elkins 2007: 41). Dat is ook precies hoe filters worden ingezet in de casestudy, om bij informatie te komen die anders niet zichtbaar is.

Deze beschrijving van filters als essentiële onderzoeksmiddelen staat haaks op hoe in tijdschriften beeldingrepen worden neergezet als onwenselijk en potentieel frauduleus. Een verklaring voor de grote afwezigheid het analytische potentieel van beeldsoftware is zoals Elkins

aangeeft dat Photoshop “the image manipulation software of choice in the arts” is. Ondanks dat de beeldanalytische mogelijkheden van Photoshop sterk beperkt zijn (Ibidem). Beeldanalytische software daarentegen, is “virtually ignored by scholars interested in the uses and meanings of the visual” (Ibidem: 42). Dit gebrek aan kennis over de functies van analytische filters in wetenschap maken het mogelijk dat een eenzijdig beeld kan ontstaan over beeldbewerking in wetenschap, waarin de epistemologische functie van filters onvoldoende erkend wordt. Op basis van de observaties bij de casestudie is deze afkeurende houding ten aanzien van beeldbewerking onhoudbaar en moeten filters als essentiële research tools beschouwd worden.

Conclusie

De analyse van wetenschappelijke tijdschriften om beeldingrepen door onderzoekers af te doen als problematische beeldmanipulatie ontbeert een correcte weergave van het gebruik van wetenschappelijke afbeeldingen in onderzoeksprocessen. Uiterlijke beeldanalyse en beeldvergelijking doen als methodes onvoldoende recht aan de epistemologische functies van afbeeldingen in het onderzoeksproces. Het begrip van wetenschappelijke afbeeldingen als actieve dragers van denkprocessen vormt de basis voor de gebruikte methodologie waarin de rol en totstandkoming van beelden in het onderzoeksproces geanalyseerd wordt.

De onderzoekspraktijk van de casestudy laat zien dat het werken met en bewerken van afbeeldingen essentieel is om kennis uit ruwe data te onttrekken. Alleen door het gebruik van virtuele tomografieën en het inzetten van filters kon de bestudeerde onderzoeksgroep ontdekkingen doen die de nucleaetheorie "op zijn kop" zouden zetten. Zowel de fysieke manipulatie van het onderzoeksmonster voorafgaand aan de elektronenmicroscopische opname, als softwarematige beeldmanipulatie achteraf zijn cruciaal voor het verkrijgen van bruikbare informatie uit het monster.

Afbeeldingen zijn daarmee tegelijkertijd een representatie van het onderzoeksobject en een wetenschappelijke tool waar kennis uit te halen is. Voortbordurend op het *image-as-tool* concept van Lorraine Daston en Peter Galison, introduceer ik de *filter-as-tool*. De casestudy laat namelijk zien dat beeldbewerking veelal een analytische functie heeft in plaats van een louter esthetische. Die observatie maakt een alternatieve benadering van beeldmanipulatie mogelijk. Een benadering die ook het epistemologische potentieel van filtergebruik in beschouwing neemt.

Conclusie

Uit de verkenning van redactionele stukken uit grote wetenschappelijke tijdschriften als *Nature*, *Science* en *Journal of Cell Biology* ontstaat een alarmerend beeld over de manier waarop onderzoekers omgaan met het maken van wetenschappelijke afbeeldingen. Als reactie op de toename van beeldfraudezaken, omarmen tijdschriftredacties ‘dirty images’: afbeeldingen die dichterbij de ruwe data staan. De conclusie van verschillende hoofdredactionele stukken is dat er een einde moet komen aan een cultuur van ‘beautification’. Deze esthetisering van wetenschappelijke afbeeldingen zou beeldmanipulatie en beeldfraude in de hand werken.

Echter, de alomtegenwoordigheid van mooie covers van deze tijdschriften deed vermoeden dat schoonheid wel degelijk een rol speelt in het gepubliceerd krijgen van artikelen. Daarnaast zorgen hedendaagse wetenschappelijke beeldtechnologieën dat beeldmanipulatie en beeldingrepen praktisch onontkoombaar zijn in het onderzoeksproces. Er is dus een discrepantie tussen de krachttaal van wetenschappelijke tijdschriften en de onderzoeksrealiteit. Om die reden is deze discussie over schoonheid en beeldmanipulatie in dit onderzoek gekoppeld aan de onderzoeks- en publicatieprocessen van een specifieke casestudy die recentelijk een coverstory in *Science* publiceerde. De centrale vraag was welke rol beeldmanipulatie en esthetisering van elektronenmicroscopische beelden spelen in zowel de wetenschappelijke onderzoekspraktijk als de weg naar publicatie. Daarnaast richt het onderzoek zich op hoe die rol zich verhoudt tot het heersende hoofdredactionele discours over schoonheid en beeldmanipulatie in wetenschap.

Een opvallende constatering is dat tijdschriften beamen dat de cultuur van esthetisering en beeldmanipulatie veroorzaakt wordt door de toegenomen publicatiedruk, terwijl tijdschriften deze druk zelf in stand houden met hun hoge schoonheidseisen voor coverafbeeldingen. Deze paradoxale houding kwam aan het licht door het in kaart brengen van het proces dat voorafging aan de *Science*-publicatie van Pouget et al. Hoewel *Science* de cultuur van ‘pretty pictures’ veroordeelt, werd voor de cover een opname van een kristal gebruikt dat niet afkomstig was uit het baanbrekende onderzoek van de casestudy. Het kristal was na afloop van het onderzoek door de onderzoeksgroep speciaal voor de cover geproduceerd en voorzien van valse kleuren, puur om tegemoet te komen aan de schoonheidsverwachtingen van *Science*. Schoonheid speelt dus wel degelijk een prominente rol in het proces om een reguliere publicatie te laten promoveren tot coverstory. Mooie afbeeldingen blijven alomtegenwoordig in wetenschap, ook al geven tijdschriften officieel de voorkeur aan ‘dirty images’.

Voor veel onderzoekers, ook in het geval van de casestudy, is schoonheid een basismotivatie voor het werken aan wetenschappelijke ontdekkingen. Veel onderzoek begint met een fascinatie voor de schoonheid van bepaalde natuurlijke processen. De mogelijkheid om een breder, niet-specialistisch publiek aan te spreken met mooie afbeeldingen legitimeert het gebruik van

kunstmatig toegevoegde kleuren die een onecht beeld van het onderzoeksobject genereren. Dat geldt voor zowel de casestudy als voor typische voorvechters van mooie visualisaties, zoals Felice Frankel. De kans op de coverpositie van een tijdschrift legitimeert dergelijke aanpassingen nog sterker. Ook sociale druk tussen collega-onderzoekers speelt een belangrijke rol in de vergoelijking van het oppoetsen van visualisaties.

Tegenover de geesteswetenschappelijke neiging om schoonheid in wetenschappelijke afbeeldingen te begrijpen door parallellen te trekken met kunst, beargumenteer ik op basis van interviews dat de herkomst van stilistische keuzes juist in de directe omgeving van de onderzoekspraktijk gezocht moeten worden. Esthetische keuzes moeten niet verward worden met artistieke aspiraties. In de casestudy conformeren beeldmakers zich aan wat ik beschouw als het *visuele milieu*. Een milieu dat mede geconstitueerd wordt door prachtige coverafbeeldingen, microscopische beeldcompetities en glossy advertenties in wetenschappelijke tijdschriften. In die directe omgeving lijkt de uiterlijke standaard te worden gezet waaraan onderzoekers zich conformeren.

In de editorials wordt digitale beeldmanipulatie als ontegenzeggelijk problematisch beschouwd. Het antwoord van tijdschriften op beeldmanipulatie is de omarming van ruwe data. Echter, dit is gebaseerd op een onterecht vertrouwen in de mechanische causaliteit van vaak veel complexere wetenschappelijke beeldinstrumenten. Bovendien doet die visie geen recht aan de manier waarop afbeeldingen gebruikt worden in het onderzoeksproces. Met als uitgangspunt een begrip van wetenschappelijke afbeeldingen als actieve dragers van denkprocessen, is naar de maakprocessen van afbeeldingen in de casestudy gekeken. Niet alleen de totstandkoming van afbeeldingen is onderzocht, maar ook de functies van specifieke beeldingrepen in het onderzoeksproces.

Door deze procesbenadering van visualisaties is duidelijk geworden dat het bewerken van afbeeldingen cruciaal is om specifieke kennis uit ruwe data te onttrekken. Zo maakte in de case de vertaling van ruwe data naar driedimensionale tomografieën het mogelijk om de ruimtelijke ordening van moleculaire clusters te analyseren. Juist bewerkte afbeeldingen functioneren als belangrijke kennisobjecten in de onderzoekssetting. Afbeeldingen functioneren dus niet alleen als representatie, maar gelijktijdig als representatie en wetenschappelijke tool.

Naast deze bestaande notie van *image-as-tool* introduceerde ik de *filter-as-tool* om het kennisgenererende potentieel van softwarematige filters op afbeeldingen te benadrukken. De casestudy liet namelijk zien dat digitale nabewerking met software als MATLAB meer het karakter heeft van beeldanalyse, dan van simpele beeldmanipulatie. Door het gebruik van filters werd bijvoorbeeld de clustering van moleculen zichtbaar die doorslaggevend was voor de *Science*-publicatie van de casestudy.

Samengevat: Tegenover de heersende vereenzelviging van beeldmanipulatie met Photoshop, schetst de onderzoekspraktijk een alternatief beeld van filters als analytische tools. Het

epistemologische potentieel van beeldbewerking dwingt tot een nuancering van tijdschriften die stellen dat beeldmanipulatie louter verwerpelijk is. In zijn algemeenheid laat dit onderzoek zien dat de huidige consensus van wetenschappelijke tijdschriften over schoonheid en beeldmanipulatie beter geïnformeerd zou moeten zijn over de functies van afbeeldingen en beeldbewerking in de onderzoekspraktijk. De methodische focus op de totstandkoming en het gebruik van afbeeldingen in het onderzoeks- en publicatieproces is vruchtbaar gebleken om nuance aan te brengen in het debat binnen tijdschriften. De onderzoekspraktijk laat zien dat bij hedendaagse digitale wetenschappelijke beeldtechnologieën het verlangen naar ongemedieerde wetenschappelijke visualisaties simpelweg onhoudbaar is.

Literatuur

“1st Place, 2010.” *Nikon Small World*. 23 maart 2012
<<http://www.nikonsmallworld.com/detail/year/2010/1>>.

“2010 Owner Image Contest.” *FEI*. 20 maart 2012
<<http://www.fei.com/owners/2010-image-contest/>>.

“About the Cover” *Science* 13 maart 2009. 6 januari 2012 <<http://www.sciencemag.org/content/323/5920.cover-expansion>>.

Adler, Jeremy. “Veracity of Raw Images Can also Come into Question.” Ingezonden brief. *Nature* 435.7043 (2005): 736.

Amann, Klaus, en Karin Knorr Cetina. “The Fixation of (Visual) Evidence.” *Human Studies* 11.2-3 (1988): 133-169.

Anderson, Christopher. “Easy-to-Alter Digital Images Raise Fears of Tampering.” *Science* 263.5145 (1994): 317-318.

Antonelli, Paola. *Design and the Elastic Mind*. New York City NY: The Museum of Modern Art Press, 2008.

“Appreciating Data: Warts, Wrinkles and All.” Editorial. *Nature Cell Biology* 8.3 (2006): 203.

“Beautification and Fraud.” Editorial. *Nature Cell Biology* 8.2 (2006): 101-102.

Boehm, Gottfried. “Die Wiederkehr der Bilder.” *Was ist ein Bild?* Red. Gottfried Boehm. München: Fink, 1994. 11-38.

Bredenkamp, Horst. “Drehmomente – Merkmale und Ansprüche des Iconic Turn.” *Iconic Turn: Die Neue Macht der Bilder*. Red. Christa Maar en Hubert Burda. Keulen: Du Mont, 2004. 15-26.

---. *Darwins Korallen. Die frühen Evolutionsdiagramme und die Tradition der Naturgeschichte*. Berlijn: Wagenbach, 2005.

Burri, Regula Val rie. "Doing Distinctions: Boundary Work and Symbolic Capital in Radiology." *Social Studies of Science* 38.1 (2008): 35-62.

Committee on Ensuring the Utility and Integrity of Research Data in a Digital Age. *National Academy of Sciences. Ensuring the Integrity, Accesibility and Stewardship of Research Data in the Digital Age*. Washington D.C.: National Academies Press, 2009.

Couzin, Jennifer. "MIT Terminates Researcher Over Data Fabrication." *Science* 310.5749 (2005): 758.

---. "Don't Pretty Up That Picture Just Yet." *Science* 314.5807 (2006): 1866-1868.

Croft, William. *Under the Microscope: A Brief History of Microscopy*. Singapore: World Scientific, 2006.

Daston, Lorraine, en Peter Galison. *Objectivity*. Brooklyn: Zone Books, 2007.

Dell'Amore, Christine. "PHOTO IN THE NEWS: Nanocrystals Show How Bones Grow." *National Geographic News* 26 maart 2009. 20 februari 2012
<<http://news.nationalgeographic.com/news/2009/03/090326-bone-formation-picture.html>>.

Dey, Archan, Gijsbertus de With, en Nico Sommerdijk. "In Situ Techniques in Biomimetic Mineralization Studies of Calcium Carbonate." *Chemical Society Reviews* 39.2 (2009): 397-409.

"Editorial Policies". *Nature Cell Biology* 2 februari 2010. <http://www.nature.com/ncb/about/ed_policies/index.html#images>.

Elkins, James. *Visual Practices Across the University*. Munich: Wilhelm Fink Verlag, 2007.

"FEI 2010 Owner Image Contest Terms en Conditions." *FEI*. 20 maart 2012 <<http://www.fei.com/owners/2010-image-contest/submit-image.aspx>>.

"FEI images, 3 of 4." *The Museum of Modern Art*. 20 maart 2012 <<http://www.moma.org/interactives/exhibitions/2008/elasticmind/#/21/>>.

Fischel, Angela. "Bildbefragungen. Technische Bilder und kunsthistorische Begriffe." *Das Technische Bild: Kompendium zu einer Stilgeschichte wissenschaftlicher Bilder*. Red. Horst Bredekamp, Vera Dünkel en Birgit Schneider. Berlijn: Oldenbourg Verlag, 2008: 14-23.

Frankel, Felice. "Envisioning Science - A Personal Perspective." *Science* 280.5370 (1998): 1698-1700.

---. *Envisioning Science: The Design and Craft of the Science Image*. Cambridge: MIT Press, 2002.

---. "Image, Meaning and Discovery." *Mediaarthistories*. Red. Oliver Grau. Cambridge: MIT Press, 2007.

Friedrich, H., P.M. Frederik, G. de With en N.A.J.M. Sommerdijk. "Imaging of Self-Assembled Structures: Interpretation of TEM and Cryo-TEM Images," *Angewandte Chemie. International Edition* 49.43 (2010): 7850-7858.

Fyfe, Gordon, en John Law, red. *Picturing Power: Visual Depiction and Social Relations*. Londen: Routledge, 1988.

Jones, Caroline A., en Peter Galison, red. *Picturing Science, Producing Art*. Londen: Routledge, 1998.

Galison, Peter. "Images Scatter into Data, Data Gather into Images." *Iconoclash: Beyond the Image Wars in Science, Religion, and Art*. Red. Bruno Latour en Peter Weibel. Karlsruhe: ZKM; Londen: MIT press, 2002: 300-323.

Gilbert, Natasha. "Science Journals Crack Down on Image Manipulation." *Nature News* 9 oktober 2009. 28 november 2010 <<http://www.nature.com/news/2009/091009/full/news.2009.991.html>>.

Girod, Mark, Cheryl Rau en Adele Schepige. "Appreciating the Beauty of Science Ideas: Teaching for Aesthetic Understanding." *Science Education* 87.4 (2003): 574-587.

Gould, Stephan J. "Shape of Life." *Art Journal* 55.1 (1996): 44-46.

Heßler, Martina, en Dieter Mersch, red. *Logik des Bildlichen: Zur Kritik der ikonischen Vernunft*. Bielefeld: Transcript Verlag, 2009.

Holmes, Frederic L. "Beautiful experiments in the life sciences." *The Elusive Synthesis: Aesthetics and Science*. Red. Alfred I. Tauber. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1996: 83 – 102.

Holthuysen, Frans. Persoonlijk interview. 23 maart 2010.

"Image Integrity" *Nature* 5 december 2011. 20 december 2011 <<http://www.nature.com/authors/policies/image.html>>.

"Instructions for Authors." *Journal of Cell Biology* 4 november 2010. 20 december 2011 <<http://jcb.rupress.org/site/misc/print.xhtml#digim>>.

Kaiser, Jocelyn. "Data Integrity Report Sends Journals Back to the Drawing Board." *Science* 325.5939 (2009): 381.

Kallick-Wakker, Ingrid. "Science Icons: The Visualization of Scientific Truths." *Leonardo* 27.4 (1994): 309-315.

Kemp, Martin. *Visualizations: The Nature Book of Art and Science*. Oxford: Oxford University Press, 2000.

Kennedy, Donald. "Editorial Retraction." Ingezonden brief. *Science* 311.5759 (2006): 335.

Knorr Cetina, Karin, en Klaus Amann. "Image Dissection in Natural Scientific Inquiry." *Science Technology Human Values* 15.3 (1990): 259-283.

Latour, Bruno. "Visualisation and Cognition: Thinking with Eyes and Hands." *Knowledge and Society Studies in the Sociology of Culture Past and Present*. 6 (1986): 1-40.

---. *Science in Action: How to Follow Scientists and Engineers through Society*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1987.

Latour, Bruno, en Peter Weibel, red. *Iconoclasm: Beyond the Image Wars in Science, Religion, and Art*. Karlsruhe: ZKM; Londen: MIT press, 2002.

Lynch, Michael. "The Externalized Retina: Selection and Mathematization in the Visual Documentation of Objects in the Life Sciences." *Representation in Scientific Practice*. Red. Michael Lynch en Steve Woolgar. Cambridge, MA: MIT Press, 1990: 153-186.

---. "Laboratory Space and the Technological Complex: An Investigation of Topical Contextures." *Science in Context*, 4.1 (1991): 51-78.

Lynch, Michael, en Samuel Y. Edgerton. "Abstract Painting and Astronomical Image Processing." *The Elusive Synthesis: Aesthetics and Science*. Red. Alfred I. Tauber. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1996: 103 - 124.

Lynch, Michael, en Steve Woolgar, red. *Representation in Scientific Practice*. Cambridge, MA: MIT Press, 1990.

Manovich, Lev. *The Language of New Media*. Cambridge, MA: MIT Press, 2001.

Mitchell, W. J. T. "The Pictorial Turn." *Picture Theory: Essays on Verbal and Visual Representation*. Chicago: The University of Chicago Press, 1994: 11-35.

"Not Picture-Perfect." Editorial. *Nature* 439.7079 (2006): 891-92.

van Nieuwstad, Michiel. "Clusterkristallen." *NRC Handelsblad* 14 maart 2010: 7.

"Nikon International Small World Competition." *Microscopy U*. 20 maart 2012 <<http://www.microscopyu.com/smallworld/>>.

Norton Wise, Matthew. "Making Visible." *Isis* 97.1 (2006): 75-82.

Nudelman, Fabio, Gijsbertus de With en Nico A.J.M. Sommerdijk. "Cryo-Electron Tomography: 3-Dimensional Imaging of Soft Matter." *Soft Matter* 7.1 (2011): 17-24.

"Objectives." *TU/e Soft Matter CryoTEM Research Unit*. 20 maart 2012 <<http://www.cryotem.nl/about/objectives.html>>.

Pauwels, Luc, red. *Visual Cultures of Science: Rethinking Representational Practices in Knowledge Building and Science Communication*. Hanover, NH: Dartmouth College Press, 2006a.

---. "A Theoretical Framework for Assessing Visual Representational Practices in Knowledge Building and Science Communications." *Visual Cultures of Science: Rethinking Representational Practices in Knowledge Building and Science Communication*. Red Luc Pauwels. Hanover, NH: Dartmouth College Press, 2006b.

---. "An Integrated Model for Conceptualising Visual Competence in Scientific Research and Communication." *Visual Studies* 23.2 (2008): 147-161.

Pearson, Helen. "Image Manipulation CSI: Cell Biology." *Nature* 434.7036 (2005): 952-53.

Pitt, Joseph C. "The Epistemology of the Very Small." *Discovering the Nanoscale*. Red. Davis Baird, Alfred Nordmann en Joachim Schummer. Amsterdam: IOS Press, 157-163.

Pouget, Emilie M. Paul H. H. Bomans, Jeroen Goos, Peter M. Frederik, Gijsbertus de With en Nico A. J. M. Sommerdijk. "The Initial Stages of Template-Controlled CaCO₃ Formation Revealed by Cryo-TEM." *Science* 323.5920 (2009): 1455-1458.

---. "Supporting Online Material for "The Initial Stages of Template-Controlled CaCO₃ Formation Revealed by Cryo-TEM."” *Science* 323.5920 (2009b) 20 maart 2012 <<http://www.sciencemag.org/content/suppl/2009/03/12/323.5920.1455.DC1/Pouget.SOM.pdf>>.

Prasad, H., Sangeeta Wanjari, en Rajkumar Parwani. "Global Manipulation of Digital Images can Lead to Variation in Cytological Diagnosis." *Journal of Pathology Informatics* 2.22 (2011): Geen paginering. Web. 20 maart 2012 <<http://www.jpathinformatics.org/text.asp?2011/2/1/20/78498>>.

Rasmussen, Nicolas. *Picture Control: The Electron Microscope and the Transformation of Biology in America, 1940-1960*. Stanford CA: Stanford University Press, 1997.

Rheinberger, Hans-Jörg. *Toward a History of Epistemic Things : Synthesizing Proteins in the Test Tube*. Stanford CA: Stanford University Press, 1997.

de Rijcke, Sarah en Anne Beaulieu. "Networked Neuroscience: Brain Scans and Visual Knowing at the Intersection of Atlases and Databases." *New Representations in Scientific Practice*. Red. Cateljine Coopmans, Michael Lynch, Janet Vertesi en Steve Woolgar. Cambridge MA: MIT Press, 2012 (in druk).

Robinson, Chris. "Images in NanoScience/Technology." *Discovering the Nanoscale*. Red. Davis Baird, Alfred Nordmann, en Joachim Schummer. Amsterdam: IOS Press, 165-169.

Root-Bernstein, Robert. "The Sciences and Arts Share a Common Creative Aesthetic." *The Elusive Synthesis: Aesthetics and Science*. Red. Alfred I. Tauber. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1996: 49 – 82.

Rossner, Mike. "Figure Manipulation: Assessing What Is Acceptable." Editorial. *The Journal of Cell Biology* 158:7 (2002): 1151.

Rossner, Mike en Rob O'Donnell. "The *JCB* Will Let Your Data Shine in RGB." Editorial. *The Journal of Cell Biology* 164.1 (2004): 11-13

Rossner, Mike en Kenneth M. Yamada. "What's in a Picture? The Temptation of Image Manipulation." *The Journal of Cell Biology* 166.1 (2004): 11-15.

Sommerdijk, Nico. Persoonlijk interview. 19 mei 2010.

Sommerdijk, Nico, en H. Cölfen. "Lessons from Nature - Biomimetic Approaches to Minerals with Complex Structures." *MRS Bulletin* 35.2 (2010): 116-119.

Stafford, Barbara Maria. "Display and the Rhetoric of Corruption." *Good Looking: Essays on the Virtue of Images*. Red. Barbara Maria Stafford. Cambridge MA: MIT Press, 1998: 42-53.

Stewart, Ian. *Why Beauty is Truth: A History of Symmetry*. New York City NY: Basic Books, 2007.

Tauber, Alfred I., red. *The Elusive Synthesis Aesthetics and Science*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1996.

Taubes, Gary. "Digital Images Raise Fears of Tampering." *Science* 263.5145 (1994): 317.

"The *Science* Contributors FAQ" *Science* 2010. 6 januari 2012 <http://www.sciencemag.org/site/feature/contribinfo/faq/#cover_faq>.

The Virtual Knowledge Studio. "Messy Shapes of Knowledge – STS Explores Informatization, New Media, and Academic Work." *Handbook of Science and Technology Studies*. Red. Edward Hackett, Olga Amsterdamska, Michael Lynch en Judy Wajcman Cambridge MA: MIT Press, 2008: 319-351.

Weickert, Joachim. *Anisotropic Diffusion in Image Processing*. 1998. Stuttgart: B. G. Teubner, 2008.