



Johannes Vermeer, *Meisje met de parel*, circa 1665, Mauritshuis, Den Haag

NIEUW LICHT OP OUDE MEESTERS

Kunstonderzoek is soms het best te vergelijken met forensisch onderzoek. Net als bij misdaad, gaat het er bij kunst om de ontstaansgeschiedenis te begrijpen. Wie heeft het kunstwerk gemaakt? Waar, wanneer en hoe is het gemaakt? Wat voor restauraties hebben nadien plaatsgevonden en in welke volgorde? En tenslotte, wat is de huidige staat van het kunstvoorwerp?

Voor het beantwoorden van deze vragen heeft de moderne kunsthistoricus een groot arsenaal aan analytische technieken tot zijn beschikking gebaseerd op de meest geavanceerde natuurkundige principes. Net als in de forensische wetenschap maakt men daarbij steeds meer gebruik van beeldvormende, non-destructieve technieken die, omdat ze draagbaar zijn, *in situ* in het museum of restauratieatelier gebruikt kunnen worden. In dit artikel laten we zien dat het gebruik van één van deze nieuwe technieken, optische-coherentietomografie, bij het bestuderen van het schilderij *Meisje met de parel* (circa 1665) van Johannes Vermeer nieuwe inzichten kan opleveren. Onder de titel 'Het Meisje in de Schijnwerper' vond er begin 2018 in het Mauritshuis een groot onderzoeksproject plaats naar het schilderij *Meisje met de parel*. Doel was een beter inzicht te krijgen in de toestand van het schilderij en de materialen en technieken van Vermeer beter te begrijpen. Sinds het laatste onderzoek in 1994 zijn de analytische technieken namelijk sterk uitgebreid en verbeterd. Een kleine greep uit de toegepaste analysetechnieken: scannende röntgendiffractie, hyperspectrale beeldvorming, infraroodreflectografie en optische coherentietomografie (OCT). Om de bezoekers tijdens het vier weken durende onderzoek de kans te geven dit meesterwerk te blijven bewonderen was er in het Mauritshuis

een groot glazen atelier rond 'het Meisje' opgebouwd. Ons team van de TU Delft en het Mauritshuis heeft gedurende een paar dagen OCT mogen toepassen op dit iconische schilderij. Figuur 1 laat de opstelling zien die we daarvoor hebben gebruikt. Met OCT is het mogelijk haarscherpe beelden te verkrijgen van dunne oppervlaktelagen zoals vernis en dunne verflagen. De verwachtingen waren dus hooggespannen.

Grootste OCT-scan ooit

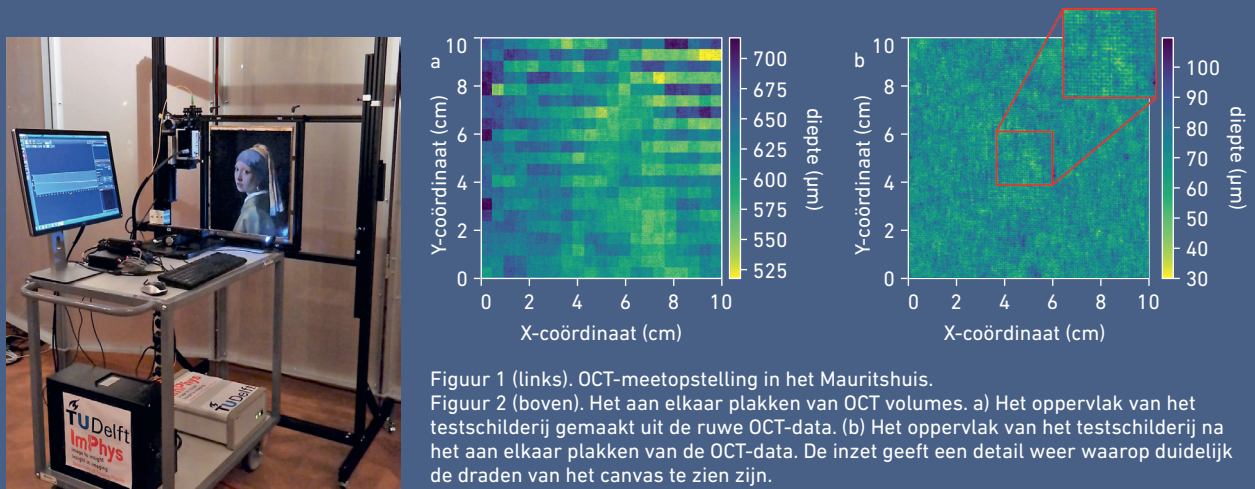
Aangezien OCT gebaseerd is op het punt voor punt scannen van het oppervlak met behulp van een lens is het gescande oppervlak normaliter beperkt tot de grootte van een kleine postzegel, ongeveer een vierkante centimeter. Maar 'het Meisje' is 44,5 x 39 cm² groot en daarom waren we voor een groot probleem gesteld. Hoe vorm je een beeld van zo'n groot oppervlak en hoe verwerk je alle data daarvan? Als eerste stap hebben we de scan-arm van ons OCT-systeem op een systeem van drie translatietafels gezet. Vervolgens hebben we elke keer een klein OCT-volume gescand, het volume opgeslagen en zo het hele schilderij afgewerkt. Verder hebben we voor elk OCT-volume het oppervlak van het object bepaald door het toepassen van beeldsegmentatie [2]. We hebben de methode eerst getest op een testschilderij, zie figuur 2a. Als we alle oppervlakken van de OCT-beelden naast elkaar zetten zien we dat ze zeer



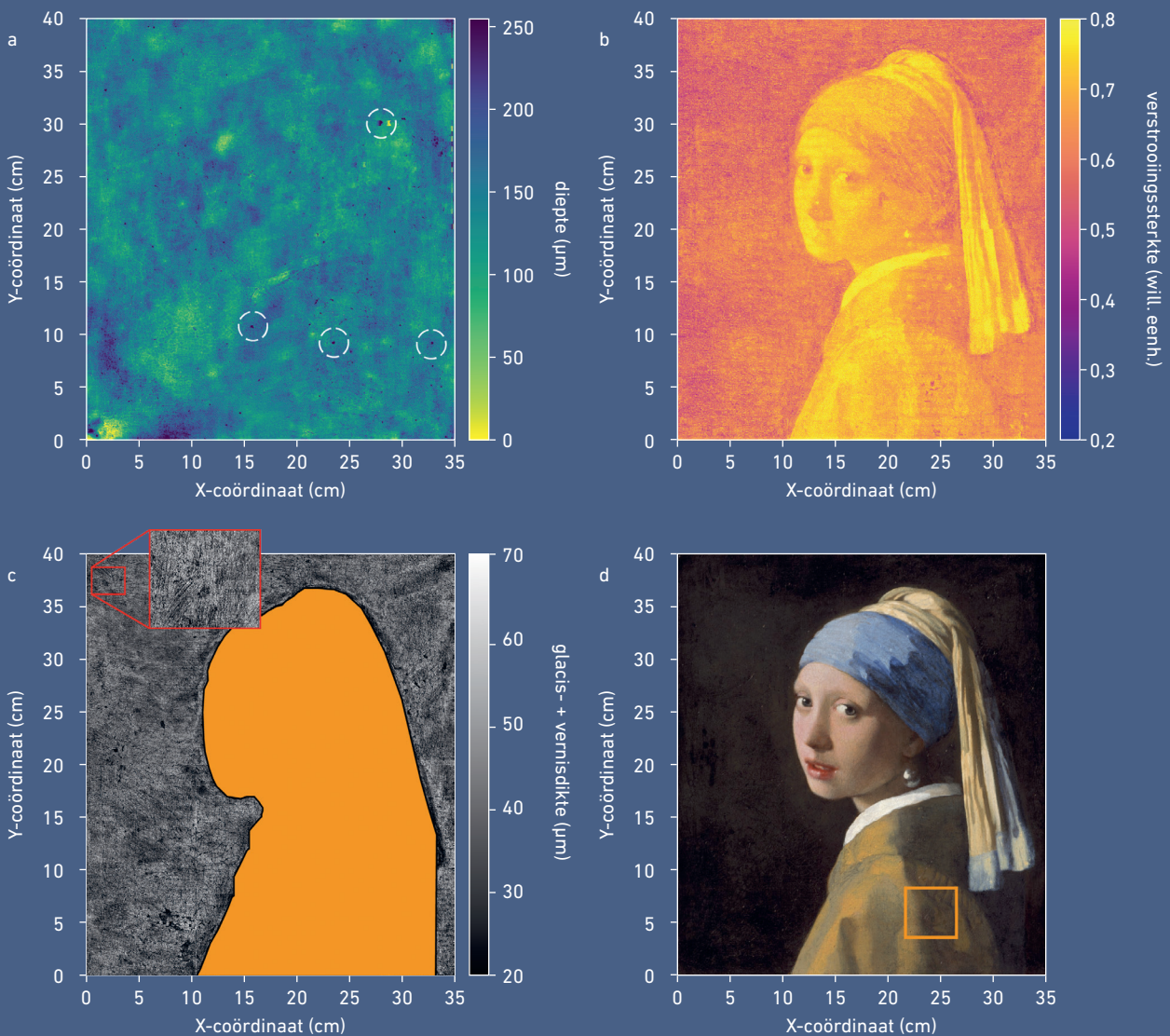
Jeroen Kalkman is universitair docent aan de TU Delft. Zijn interessegebied is technologieontwikkeling en toepassing van optische tomografie.



Abbie Vandivere is restaurator schilderijen bij het Mauritshuis en docent technische kunstgeschiedenis aan de UvA. Zij geeft leiding aan het onderzoeksproject 'Het Meisje in de Schijnwerper'.



Figuur 1 (links). OCT-meetopstelling in het Mauritshuis. Figuur 2 (boven). Het aan elkaar plakken van OCT volumes. a) Het oppervlak van het testschilderij gemaakt uit de ruwe OCT-data. (b) Het oppervlak van het testschilderij na het aan elkaar plakken van de OCT-data. De inzet geeft een detail weer waarop duidelijk de draden van het canvas te zien zijn.



Figuur 3. a) Diepteverdeling van het schilderij met een aantal kleine beschadigingen aangegeven met cirkels. b) Verstrooiingssterktebeeld van het schilderij. c) Dikte van de glacijs- + vernislagen in het achtergrondgedeelte van het schilderij. Het gebied waar deze laag niet kon worden bepaald is aangegeven in oranje. d) Foto in zichtbaar licht van het schilderij *Meisje met de parel*, Johannes Vermeer (circa 1665) Mauritshuis. Het oranje vierkant geeft het gebied aan waar we in figuur 5 op inzoomen.

veel verspringen. Dit wordt veroorzaakt door kleine bewegingen van het object en door de kleine hoek die de translatietafel met het schilderij maakt. Het gevolg is dat een goede beeldinterpretatie vrijwel onmogelijk is.

Vervolgens hebben we al deze OCT-volumes met gebruik van software ‘aan elkaar geplakt’ door de verschuiving uit te rekenen die nodig is om de gesegmenteerde oppervlakken van elke OCT-scan continu te laten doorlopen. In de computer zijn de verschuiving van de hoogte daarna geïmplementeerd op de OCT-data. Zoals te zien is in figuur 2b geeft dit een vrijwel perfect aaneengesloten oppervlak waarin zeer kleine details, zoals de draden van het canvas, kunnen worden waargenomen. Echter, dit was een test op een klein schilderij. Voor een schilderij met de afmetingen van ‘het Meisje’ leidt het meten van al deze OCT-volumes tot een ruwe dataset met een grootte van 881 gigabyte bestaande

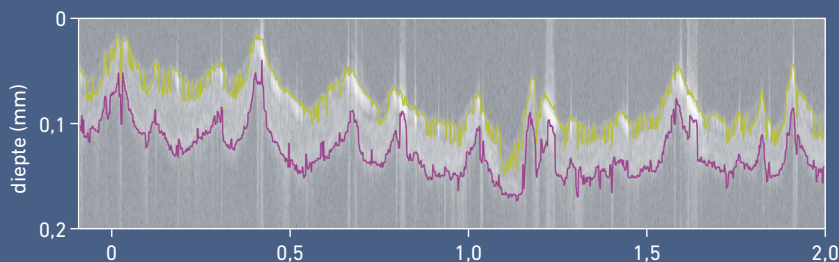
uit maar liefst 215.000 aparte bestanden! Dat is niet eenvoudig om efficiënt te verwerken. Door datareductie en slimme algoritmes toe te passen hebben we het voor elkaar gekregen om al deze OCT-volumes op de juiste manier aan elkaar te plakken tot één groot OCT-volume van 40 cm x 40 cm x 1,89 mm. Dit voor OCT-begrippen zeer grote volume is afgebeeld met een resolutie van enkele micrometers in elke dimensie. Een OCT-scan met deze resolutie en afmeting was nog nooit eerder gemaakt.

Nieuwe kenmerken

Uit de OCT-data hebben we verschillende kenmerken gehaald en op de schaal van het volledige schilderij afgebeeld. Zo hebben we door beeldsegmentatie de hoogtes van de grensvlakken tussen lucht en vernis, en glacis en ondergrond bepaald. Door deze hoogtes van elkaar af te trekken bepalen we de optische laagdikte (brekingsindex maal fysische

OPTISCHE COHERENTIETOMOGRAFIE

OCT is het optische analogon van een scan met ultrageluid. In beide gevallen worden de ‘vluchttijd’ en intensiteit van gereflecteerde golven gemeten. Het grootste verschil tussen de twee technieken is de voortplantingssnelheid, die voor licht veel groter is dan die voor geluid. Voor het afbeelden met licht van dunne lagen moeten vluchttijden in de orde van enkele femtoseconden worden gemeten. Hiervoor wordt een vorm van interferometrie toegepast, bijvoorbeeld met behulp van een Michelson-interferometer. Hierin wordt het licht gesplitst in een referentie- en een objectbundel. Terwijl de eerste wordt gereflecteerd door een spiegel, wordt de laatste terug verstrooid in het materiaal dat wordt onderzocht. Door het interferentiespectrum te meten, kunnen de amplitudes voor licht dat op verschillende dieptes in het object is geweest worden bepaald. Het OCT-contrast wordt bepaald door overgangen tussen lagen in het schilderij met verschillende brekingsindex en verstrooiingseigenschappen. Hieronder een OCT-doorsnede van ‘het Meisje’ genomen in de donkere achtergrond van het schilderij. Ook is aangegeven waar we de grenslagen van lucht en vernis, en glacis en ondergrond hebben bepaald door middel van beeldsegmentatie. Meer achtergrondinformatie over OCT verscheen in een eerder nummer van dit blad [1].



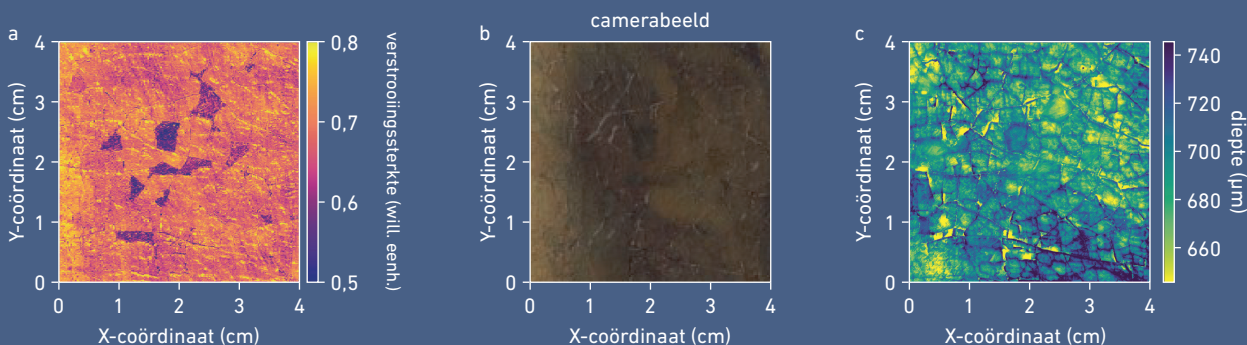
Figuur 4. OCT-scan genomen in de donkere achtergrond van ‘het Meisje’. De bovenste dunne laag is de vernislaag, daaronder bevindt zich een dikkere glacislaag. De segmentatie van de grenslagen is aangegeven.



Tom Callewaert-Doré studeerde scheikunde aan de KU Leuven. Sinds 2014 werkt hij aan OCT voor materiaalkundige toepassingen op grote schaal.



Joris Dik studeerde kunstgeschiedenis en promoveerde in de scheikunde. Aan de TU Delft is hij hoogleraar materiaalkunde en archeologie, waar hij nieuwe technieken ontwikkelt om oude schilderijen te onderzoeken.



Figuur 5. OCT-analyse van het gebied aangegeven door het oranje vierkant in figuur 3d. a) Verstrooiingssterktebeeld. b) Camerabeeld. c) Dieptebeeld.

dikte) van het glacis plus vernis. Een glacis is een transparant laagje verf dat de kleur van de onderliggende verflaag modificeert en vaak verdiept. Ook hebben we de verstrooiingssterkte in de bovenlaag gekwantificeerd (soms van de reflecties in de diepte). Omdat we met onze techniek deze parameters nu op de schaal van het gehele schilderij af kunnen beelden, kunnen we aan de hand van deze beelden nieuwe kenmerken van het schilderij ontdekken.

Figuur 3a laat het oppervlak zien van het totale schilderij. Verschillende beschadigingen in het oppervlak zijn hierin zichtbaar als ‘putjes’ (omcirkeld). In figuur 3b is de verstrooiingssterkte te zien. Bij een vergelijking met de foto in figuur 3d is te zien dat vrijwel overal in het schilderij waar het licht is het ook een grote verstrooiing heeft. Dit is het gevolg van het gebruik van lichtverstrooiende pigmenten door Vermeer, met name door het gebruik van loodwit in de lichte gedeelten van het gezicht. In sterk contrast met deze reflecterende, witte gedeelten van het gezicht is de donkere en sterk absorberende achtergrond van het schilderij. Dat donkere effect bereikte Vermeer door een dubbele verflaag in de achtergrond te gebruiken. Boven op een dekkende laag beenderzwart schilderde hij een groene, transparante glacislaag bestaande uit blauwe en gele kleurstoffen. Het effect is een uitermate donker

oppervlak dat door de transparant groene glacislaag een versterkt absorberend effect heeft. Figuur 3c laat de glacislaagdikte zien. In de lichte delen van het schilderij kan deze laag niet bepaald worden, omdat er een sterk verstrooiende laag aanwezig is. In de dikte van de glacislaag zijn penseelstreken van Vermeer te zien (zie inzet) ook is te zien dat deze glacislaag overal in de achtergrond aanwezig is. Door de extreem donkere achtergrond te combineren met een zeer lichte voorgrond verkreeg Vermeer het effect dat ‘het Meisje’ in een schijnwerper lijkt te staan. Naast de mogelijkheid om beelden te analyseren op de schaal van het totale schilderij, is het ook mogelijk de OCT-data op zeer kleine schaal te bekijken en zo details in het schilderij te onderzoeken. Kijken we bijvoorbeeld naar het gebied aangegeven door het vierkant in figuur 3d dan zien we in het verstrooiingssterktebeeld in figuur 5a duidelijk een aantal restauraties die aan het schilderij zijn uitgevoerd. Bij de restauratie zijn de reflectiviteit (figuur 5b) en de hoogte (figuur 5c) van de omliggende originele verf redelijk goed gereproduceerd. Er is echter wel een groot verschil tussen de verstrooiingssterkte van de restauratie en het omliggende gebied. Hoewel de restauraties met het blote oog onzichtbaar zijn, kunnen we met onze techniek een aantal van deze gebieden in het schilderij

goed herkennen. Daarnaast kunnen we door de goede dieptesresolutie van OCT het craquelé van het schilderij uitstekend weergeven, zie figuur 5c. Craquelé is het ontstaan van barsten in het lagenpakket van het schilderij en de aanwezigheid hiervan laat zien dat het schilderij verouderd is. OCT kan dus dienen om de huidige staat van het schilderij goed in kaart te brengen.

Conclusie

We kunnen dus concluderen dat OCT in schilderijen bepaalde kenmerken in beeld kan brengen, zoals verfstreken en restauraties, die met andere technieken niet of moeilijk te zien zijn. Het draagt daarmee zijn steentje bij aan de forensische zoektocht naar de ontstaansgeschiedenis van het kunstvoorwerp.

Dankwoord

Dit onderzoeksproject was een initiatief van het Mauritshuis, onder leiding van schilderijenrestaurator Abbie Vandivere en werd uitgevoerd door een internationaal team van wetenschappers, onderzoekers, conservatoren, restauratoren en experts in het kader van het Netherlands Institute for Conservation+Art+Science+ (NICAS).

REFERENTIES

- 1 J. Kalkman, NTvN 81, 126-128 (2015).
- 2 T. Callewaert, J. Dik en J. Kalkman, Segmentation of thin corrugated layers in high-resolution OCT images, Optics Express 25, 308116 (2017).