

Een revolutie op het gebied van meettechniek

## 2 NANOMEFOS

Om de absolute vorm van freeform en asferische optische oppervlakken te kunnen verifiëren, is een systeem nodig dat deze nauwkeurig kan meten.

In deze lacune is voorzien door het IOP-project NANOMEFOS (Nanometer Accuracy NON-contact MEasurement of Freeform Optical Surfaces). TNO heeft de gelijknamige meetmachine inmiddels in gebruik genomen en een commercialisatietraject gestart.

Klassieke sferische lenzen hebben last van ongewenste optische afwijkingen (aberraties). Om de beeldkwaliteit te verbeteren bestaan de meeste optische systemen daarom uit meerdere lenzen en spiegels. Deze afwijkingen kunnen ook worden gecompenseerd door gebruik te maken van freeform of asferische componenten. Dat heeft als voordeel dat het benodigde aantal componenten, de massa en de afmetingen van het systeem omlaag kunnen. Met name voor toepassingen in ruimtevaart, astronomie en lithografie is dat zeer belangrijk.

Het ontwerpen en bewerken van freeform oppervlakken gaat steeds beter, maar het nauwkeurig nameten ervan was tot voor kort een probleem. Vandaar dat de Technische Universiteit Eindhoven samen met TNO Industrie en Techniek en het Nederlands Meetinstituut een machine ontwikkelden, die werkstukken tot een diameter van 500 millimeter met een nauwkeurigheid van 30 nanometer kan meten. Promovendus Rens Henselmans van de TU/e-groep Constructies en Mechanismen onder leiding van Nick Rosielle, vergelijkt de machine met een reusachtige cd-speler: “Het werkstuk dat je wilt meten, een freeform lens of spiegel die zowel hol als bol kan zijn, ligt op een tafel die met een constant toerental ronddraait. Een contactloze sensor wordt hierboven gepositioneerd en bepaalt het hoogteprofiel. Het profiel van een freeform oppervlak kan tot enkele millimeters afwijken van een rotatiesymmetrisch oppervlak.” Hiertoe heeft de sensor een bereik van 5 mm, wat voor de meeste optische oppervlakken voor hoognauwkeurige toepassingsgebieden ruim voldoende is.

Een deel van de vernieuwing zit in het metrologiesysteem waarmee de positie van de sensor wordt bepaald, vertelt Rens Henselmans. Meten ten opzichte van (bewegende) sledes en het machineframe introduceert meetfouten die

vermeden kunnen worden door gebruik te maken van een apart metrologieframe. Voor het metrologiesysteem en bijbehorend interferometriesysteem is een octrooi aangevraagd en toegekend. Een ander vernieuwend element is de optische sensor die voor het project is ontwikkeld door Lennino Cacace (AC Optomechanix). De sensor focuseert een laserbundel op het werkstukoppervlak en meet aan het gereflecteerde licht wat de afstand tot het oppervlak is. "Om zowel holle als bolle oppervlakken te kunnen meten zonder

al te scheef op het te meten oppervlak te staan, kan de sensor van min 45 tot plus 45 graden georiënteerd worden", legt Lennino Cacace uit. "Desondanks moet de sensor ook goed functioneren tot 5 graden scheefstand, omdat bij een freeform oppervlak de lokale hoek over een omwenteling varieert. Voor het compenseren van de meetfouten die daardoor geïntroduceerd worden, hebben we een oplossing bedacht. Gecombineerd met een nieuwe kalibratiemethode is de meetonzekerheid van de sensor extreem laag."



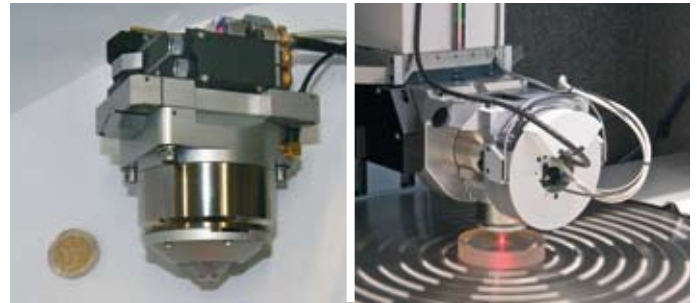
*Het principe van poederstralen*

Dit gedeelte van het onderzoek leidde tot een tweede octrooi en een tweede proefschrift, waarop Lennino Cacace in 2009 hoopt te promoveren.

Maarten Steinbuch, hoogleraar Regeltechniek aan de Technische Universiteit Eindhoven, vindt het een bijzonder project dat een unieke machine heeft opgeleverd: "De vergelijking met een enorme cd-speler is juist, maar dan wel één met de nauwkeurigheid van een blu-rayspeler. Het ontwikkelen daarvan bleek meer werk dan gedacht, dus we hebben er samen met TNO extra geld in gestoken. Overigens vind ik het die investering meer dan waard. Het belangrijkste resultaat is natuurlijk de meetmachine. Daarnaast is het proefschrift van Rens Henselmans een prachtig naslagwerk waarin het hele mechatronische ontwerptraject is vastgelegd, inclusief een wetenschappelijk verantwoorde onderbouwing van alle ontwerpkeuzes. We gebruiken dat nu in het onderwijs aan alle derdejaars werktuigbouwstudenten. Ook verwacht ik een mooi proefschrift van Lennino Cacace."

Wim van Amstel van WimOptik was lid van de Begeleidingscommissie en is als consultant van dichtbij bij de ontwikkeling van de NANOMEFOS betrokken geweest. "Ik werkte voorheen bij Philips aan het ontwikkelen van sensoren, onder meer voor het meten van asferen", vertelt hij. "Er was in dit IOP-project behoefte aan iemand die met een 'optisch oog' het hele machineconcept nog eens kritisch bekeek. Daar kwam uit dat de oorspronkelijk beoogde sensor de eisen niet zou kunnen halen en dat er een wezenlijk nieuw concept nodig was. Vervolgens heeft Lennino Cacace de sensor ontwikkeld. Om iets met de opgedane kennis en vinding te kunnen

*"Het machineconcept is mechatronisch elegant en het apparaat is volgens de specificaties opgeleverd"*



*De optische sensor*

*Het opmeten van een optisch vlak werkstuk*

doen, hebben we een octrooiaanvraag ingediend." Voor het verder uitontwikkelen en marktrijp maken van de sensor wordt nu samenwerking gezocht met bedrijven die sensoren op de markt brengen. Over de resultaten van het project is Wim van Amstel zeer te spreken: "Het machineconcept van Rens Henselmans is mechatronisch elegant en het apparaat is volgens de specificaties opgeleverd. Dat ook de sensor een octrooi en een proefschrift waard bleek, is een ongepland en bijzonder neveneffect."

Ook Stefan Bäumer, optisch systeemontwerper bij Philips Applied Technologies, heeft aan de Begeleidingscommissie deelgenomen. Hij legt uit: "We ontwikkelen onder andere spuitgietsystemen voor gebruik in verlichtingssystemen of voor camera's van mobiele telefoons. Vooral in LED-verlichting gaat het vaak om asferische of zelfs freeform lenzen. Wij geven aan welke parameters bij de productie kritisch zijn en hoe die gemeten kunnen worden.

Wanneer we ingewikkelde vormen ontwerpen, kunnen we vanaf nu dus doorverwijzen naar NANOMEFOS. Het leuke van dit project is dat het een werkend prototype heeft opgeleverd van een cilindrisch

meetsysteem. Daar zijn er niet veel van, terwijl het voor optische toepassingen veel voordeliger – want nauwkeuriger – is dan een carthesisch systeem. Het aantal toepassingen waarvoor NANOMEFOS gebruikt kan worden, neemt alleen maar toe.”

Het bijzondere aan de NANOMEFOS is dat hij vijf eigenschappen weet te combineren, vertelt promovendus Rens Henselmans die inmiddels voor TNO werkt. “Hij is universeel, je kunt er grote complexe oppervlakken mee meten, met grote nauwkeurigheid, contactloos en snel. Die combinatie is revolutionair. Bestaande meetmethoden zijn gericht op een bepaald type oppervlak of ze gebruiken een fysieke taster. Los van het risico op beschadigingen doen die er vele malen langer over om een werkstuk van deze omvang te meten. Met de NANOMEFOS hebben we die tijd teruggebracht van enkele uren tot een kwartier, en de nauwkeurigheid flink verhoogd.” Het apparaat is intussen verhuisd van de TU/e naar Delft, waar het in het NanoLab een plaats heeft gevonden. Daar gebruikt TNO het bij de fabricage van optische componenten. TNO heeft een commercialisatietraject gestart, en er is een voorstudie gepland om te onderzoeken of een grotere uitvoering van de NANOMEFOS gebruikt kan worden bij de bouw van een 42 meter telescoop door ESO, een Europese organisatie voor astronomisch onderzoek. Die telescoop zal zijn opgebouwd uit 1.100 zeskantige spiegelsegmenten van 1.20 meter in doorsnede. “Het gaat om 150 verschillende asferische vormen. Die zou je met een grotere versie van onze universele meetmachine uitstekend met de gewenste nauwkeurigheid kunnen meten.”



*Het opmeten van een bolle lens. Hier is duidelijk te zien dat de sensor, om loodrecht op het lensoppervlak te kunnen meten, onder een hoek staat*

## PROJECTINFORMATIE

**Project:** NANOMEFOS

**Doelstelling:** Het ontwerpen, bouwen en testen van een universele contactloze meetmachine voor free-form optische oppervlakken tot 500 mm diameter met een meetonzekerheid van 30 nanometer (NANOMEFOS staat voor Nanometer Accuracy NON-contact Measurement of Freeform Optical Surfaces)

**Resultaten:** Een meetmachine met een contactloze optische sensor die aan de specificaties voldoet. Twee octrooien, twee proefschriften, diverse publicaties in wetenschappelijke tijdschriften en presentaties op congressen

**Publicaties en meer informatie:** [www.precisieportaal.nl](http://www.precisieportaal.nl), discipline Optica

**Contactpersoon:** Rens Henselmans, [rens.henselmans@tno.nl](mailto:rens.henselmans@tno.nl), telefoon (015) 269 27 68, Nick Rosielle, [p.c.j.n.rosielle@tue.nl](mailto:p.c.j.n.rosielle@tue.nl), telefoon (040) 247 45 80