

Een grote stap voorwaarts

# 1 Adaptieve optiek

In optische telescopen gebruikt men deformeerbare spiegels om verstoring door atmosferische turbulentie te corrigeren. In dit IOP-project ontwikkelden onderzoekers van de TU Delft, TU/e en TNO Industrie en Techniek een adaptieve spiegel waarvan zowel het mechanische ontwerp als de elektronica en de aansturing modulair zijn opgebouwd. Deze technologie is een grote stap voorwaarts voor adaptieve optiek-systemen, ook buiten het toepassingsgebied van de astronomie.

Het licht afkomstig van sterren die zich op grote afstand van de aarde bevinden, bereikt de atmosfeer in parallelle bundels zonder onderlinge tijdvertraging. Het licht heeft een vlak golffront, waarvan de vorm echter verandert door atmosferische turbulentie en optische systeemaberraties. Om die verstoring te corrigeren wordt in optische telescopen gebruik gemaakt van adaptieve optiek. Daarbij vervormt een regelsysteem op basis van sensorinformatie een spiegelend

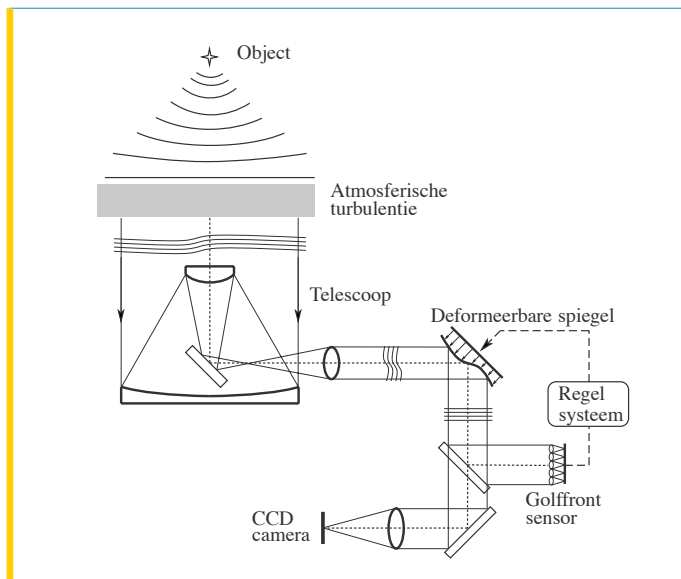
oppervlak zodanig, dat de afwijkingen gecompenseerd worden. Bestaande telescopen gebruiken een adaptieve spiegel met een diameter van vijftien centimeter en enkele honderden actuatoren. Om de resolutie en het contrast te verbeteren, is er behoefte aan een groter spiegeloppervlak met duizenden actuatoren. Dat stelt ook hogere eisen aan de elektronica en het regelsysteem.

Roger Hamelinck werkte als promovendus in de Eindhovense Dynamics and Control Technology groep aan het ontwerp van de hardware. "Ik heb een zeshoekig standaardbouw-element ontwikkeld, dat 61 elektromagnetische push-pull actuatoren bevat. Die actuatoren bevinden zich op 6 millimeter afstand van elkaar en kunnen het spiegelende oppervlak erboven lokaal op en neer laten bewegen. Door de zeshoekige elementen te combineren, kun je ook veel grotere spiegels vervormen. We hebben zowel een prototype gemaakt met een diameter van 50 millimeter, als één met zeven elementen voor een spiegel met een diameter van 150 millimeter." Door de grote actuatoordichtheid kan de 0,1 millimeter dunne gecoate glazen spiegel een betere fit maken op het binnenkomende golffront. Met behulp van zogenoemde Zernike-polynomen is aangetoond dat de spiegel de benodigde vervormingen werkelijk kan aannemen.

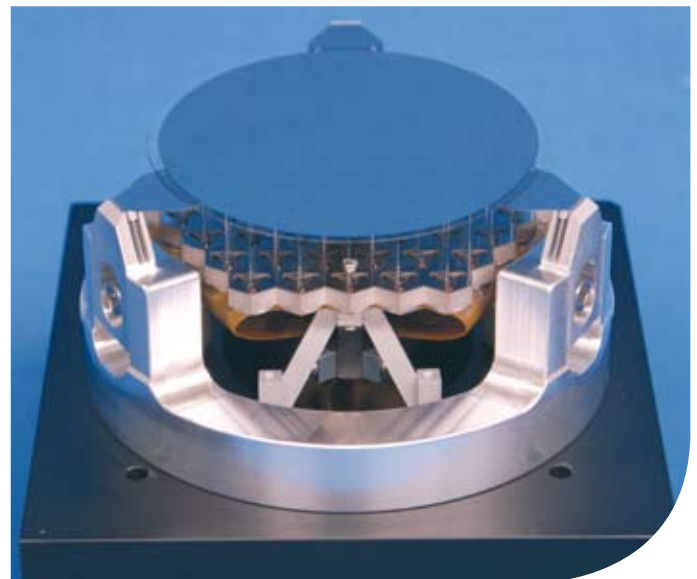
De tweede promovendus, Rogier Ellenbroek, voerde zijn onderzoek naar de benodigde regeltechniek uit in het Delft Center for Systems and Control. Hij vertelt: "Net als bij de hardware wilden we ook het regelsysteem modulair opzetten. Op termijn willen we daarmee 5.000 actuatoren snel genoeg aan kunnen sturen. Dat doe je op basis van de input van de sensoren die de verstoring meten. In bestaande adaptieve optiekssystemen berekent een centrale controller het stuursignaal voor iedere individuele actuator op basis van de signalen van alle sensoren. Maar in het geval van duizenden actuatoren stijgt de hoeveelheid berekeningen dan onaanvaardbaar." Vandaar dat is gekozen voor een oplossing waarbij het regelwerk wordt verdeeld. In plaats van één centrale computer te gebruiken, heeft iedere actuator zijn eigen regelaar, die alleen met regelaars in de buurt communiceert en zo de voor hem meest

relevante informatie binnenkrijgt. Rogier Ellenbroek ontwikkelde en simuleerde daarvoor een aantal regelalgoritmes. "De kunst is om in een gedistribueerde omgeving de prestaties van één centrale regelaar te benaderen. Maar de wiskundige theorie ontbreekt om te kunnen bepalen waar het optimum ligt. Daardoor weten we nu niet hoe ver we met onze algoritmes daarvan verwijderd zijn. Het zoeken naar de beste regelaar is dus nog niet geëindigd." Naast het bedenken en simuleren van de benodigde regelalgoritmes heeft Rogier Ellenbroek samen met Roger Hamelinck veel tijd besteed

*"We gaan nu aan de slag om de technologie te vermarkten, om te beginnen in de astronomie"*



Het principe van adaptieve optiek voor het corrigeren van atmosferische turbulentie in een telescoop



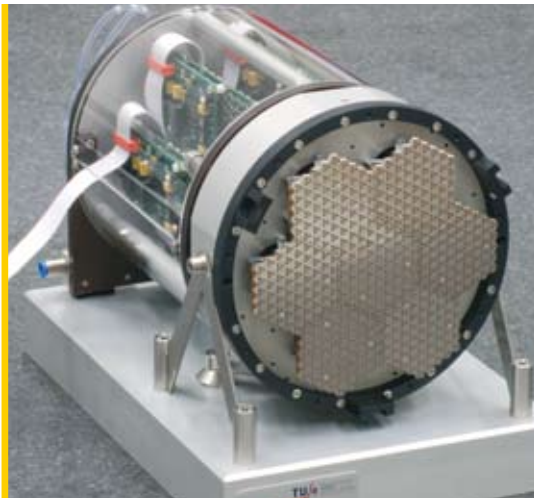
Prototype met een diameter van 50 mm. De spiegel is 0,1 mm dik; eronder is het zeshoekige actuatorgrid te zien dat 61 actuatoren bevat

aan het specificeren, ontwikkelen en testen van de benodigde elektronica. Dat resulteerde in enkele volledig functionele prototypes.

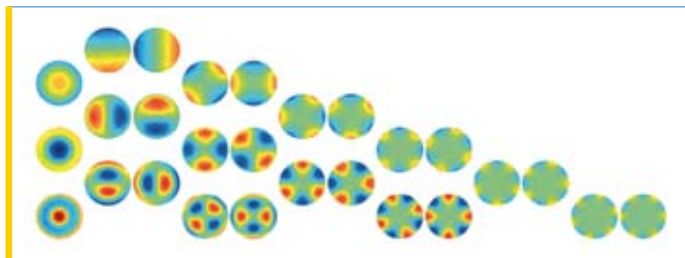
Voor TNO Industrie en Techniek is de ontwikkelde modulaire technologie een grote stap voorwaarts, vertelt senior onderzoeker Niek Doelman. "We hebben een lange historie op het gebied van optomechanische instrumenten voor ruimtevaart en industrie, en adaptieve optiek past daar goed in. We zijn erg tevreden over wat er in dit project is bereikt. De technologie is een grote stap voorwaarts gebracht door een combinatie van factoren: er is door de lage vermogensdissipatie geen koelsysteem nodig, de elektromagnetische actuatoren zijn relatief goedkoop ten opzichte van piëzoactuatoren en we hebben gezien dat alle verstoringen ermee kunnen worden opgeheven. Omdat met dit actuatorontwerp de tussenruimte tussen de actuatoren instelbaar is van 3 tot 30 millimeter heb je ook nog eens een heel schaalbare oplossing.

Nu gaan we aan de slag om de technologie te vermarkten. In eerste instantie richten we ons op de astronomie, van waar we al veel belangstelling hebben gehad."

Ook Nederlands grootste ruimtevaartonderneming Dutch Space heeft met veel belangstelling de voortgang van het project gevolgd, vertelt senior functioneel specialist Marcel Ellenbroek. "Wij schrijven in op projecten van grote spelers zoals de Europese ruimtevaartorganisatie ESA en zijn betrokken bij astronomische projecten van de European Southern Observatory (ESO). Aanleiding om dit project van dichtbij te volgen was onze bijdrage aan de Very Large Telescope van de ESO in Chili en optische instrumenten op satellieten." Adaptieve optiek zou daar een mogelijkheid zijn om nauwkeuriger metingen te kunnen verrichten. Omdat DutchSpace voor dergelijke instrumenten niet zelf de optica ontwikkelt, is TNO een belangrijke partner. "Maar we moeten natuurlijk wel de mogelijkheden kennen, en om die reden zijn de resultaten van dit onderzoek voor ons zeker interessant."

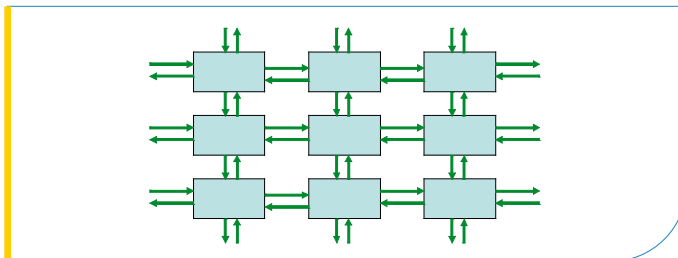


*Prototype met zeven actuatorgrids, in totaal 427 actuatoren, voor een spiegel van 150 mm in diameter*



De vormen die de spiegel aan kan nemen, zoals beschreven door de zogenoemde Zernike-polynomen

Behalve voor astronomie en ruimtevaart is adaptieve optiek ook geschikt voor andere toepassingsgebieden waar vervormingen moeten worden opgeheven, zoals in hightech laserapparatuur, microscopie en oogonderzoek. Ook ASML raakte in het onderwerp geïnteresseerd. Senior scientist Rob Munnig Schmidt, tevens hoogleraar Mechatronic System Design aan de TU Delft, vertelt: “De benadering van de vervormbare spiegel van gecoat glas is voor licht met ultrakorte golflengtes, waar wij in onze lithografiemachines mee te maken hebben, niet geschikt. Daarvoor is de nauwkeurigheid onvoldoende. Maar de algoritmes voor distributed control zijn wél interessant. Adaptieve optiek zit overal in de apparatuur van ASML. En hoewel we nu nog met een relatief klein aantal actuatoren het lenzen- en spiegelstelsel aansturen, zal een gedistribueerde aanpak in de toekomst zeker nodig zijn.” Vandaar dat ASML ook betrokken is bij andere projecten op dit gebied, zoals “Adaptieve optiek, hoge resolutie optica in EUV-projectielenzen” van Pieken in de Delta, en een onderzoek van het STW-programma Smart Optics Systems.



Principe van gedistribueerde regeltechniek, waarbij het regelwerk wordt verdeeld

## PROJECTINFORMATIE

**Project:** Adaptieve optiek

**Doelstelling:** Het ontwikkelen en realiseren van een deformeerbare membraanspiegel met hoge actuatordichtheid en gedistribueerde regeltechniek. Zowel het mechanische ontwerp als de aansturing zijn modulair en uitbreidbaar tot duizenden actuatoren. De actuatoren positioneren het oppervlak van de spiegel met nanometerresolutie, met een geringe warmteproductie en tegen redelijk lage kosten

**Resultaten:** Prototypes met spiegeldiameters van 50 mm en 150 mm. Een octrooi en een groot aantal wetenschappelijke publicaties, presentaties op conferenties en vakbeurzen

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

**Contactpersoon:** Niek Doelman, [niek.doelman@tno.nl](mailto:niek.doelman@tno.nl), telefoon (015) 269 24 10