

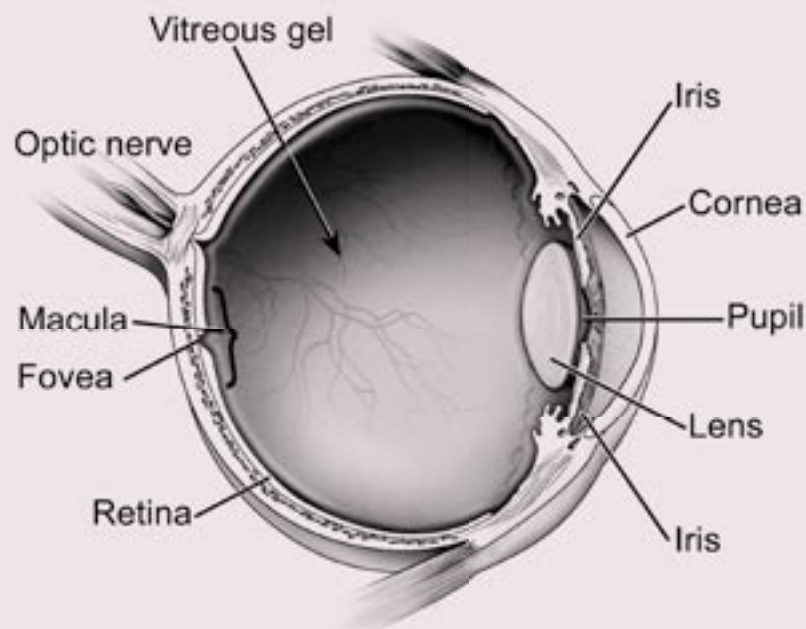
Het oog is het belangrijkste instrument dat de mens heeft, want dat levert hem het grootste deel van de informatie die hij nodig heeft om zich te handhaven. Net als andere lichaamsdelen is het oog onderhevig aan ziektes en veroudering.

Kleine wisselspanning verandert eigenschappen

Optisch variabele kunstlens schiet menselijk oog te hulp

BENNIE MOLS

Een lens die met een druk op de knop op dertig centimeter scherp stelt, en met een nieuwe druk op de knop op twintig meter. Maar hij kan ook andere optische oogafwijkingen corrigeren die zelfs het beste brillenglas niet corrigeert. Zo'n optisch variabele lens is ontwikkeld bij faculteit Elektrotechniek, Wiskunde en Informatica van de TU Delft. Een kleine wisselspanning laat de lens, die gemaakt is van een vloeibaar kristal, van optische eigenschappen veranderen. Het principe werkt, maar of hij ooit werkelijk toepassingen krijgt in het menselijk oog is nog onduidelijk. Maar zelfs als dat niet lukt, wijst het onderzoek naar twee andere mogelijke toepassingen: een nieuw optisch systeem om oogafwijkingen te meten en een manier om oogpatiënten te laten zien hoe ze na operatief inbrengen van een nieuwe lens zullen gaan zien.



Wanneer iemand ouder wordt, verhardt de lens langzaam maar zeker. Dat heeft tot gevolg dat het oog niet meer goed kan focuseren op korte afstanden (leesafstand). Ook zijn er verschillende ziektes, zoals glaucoom, die er toe leiden dat de lens troebel wordt. Door sommige ziektes vervormen de cornea en de lens en wordt de waarneming onscherp. Jaarlijks worden om deze reden met een operatie honderdduizenden lenzen vervangen door kunstlenzen gemaakt van kunststof.

(BRON: NATIONAL EYE INSTITUTE, NATIONAL INSTITUTES FOR HEALTH, USA)

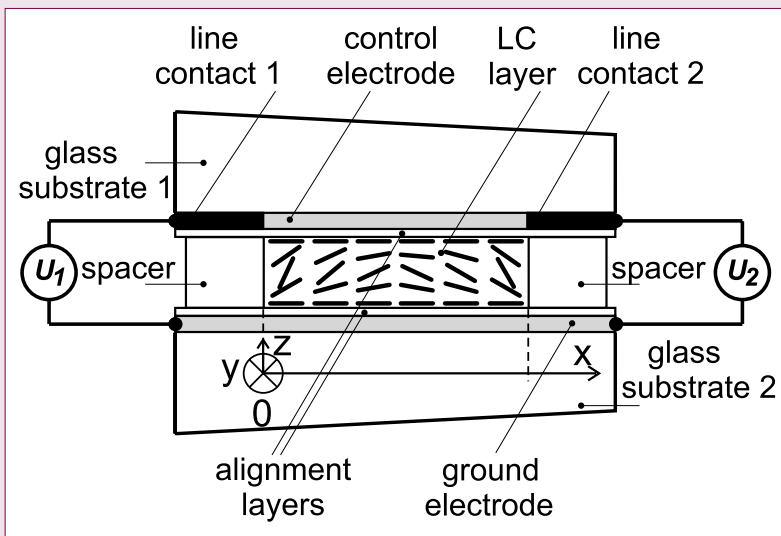
Door een sneetje van twee millimeter wordt de oude lens weggehaald en een opgerolde nieuwe lens geïmplanteerd. De meeste geïmplanteerde lenzen zijn vaste lenzen, dat wil zeggen dat ze niet kunnen focuseren. Om dat te compenseren moeten mensen verschillende brillen gebruiken afhankelijk van het doel. (Afbeelding www.optikwilken.de)



Delftse onderzoekers in samenwerking met Russische onderzoekers van Lebedev Physics Institute in Samara hebben een lens met vloeibaar kristal ontwikkeld die elektrische kan worden gefocuseerd. De lens heeft een doorsnede van 8 millimeter en een dikte 4,5 millimeter.



De lens bestaat uit twee lagen glas met een laag nematisch vloeibaar kristal ertussen. De lens wordt met wisselspanning van 1 tot 6 volt aangestuurd.



De variabele lens die Gleb Vdovin toepast, kan de belangrijkste lensafwijkingen binnen één lens-element corrigeren. De lens bestaat uit een sandwich van drie lagen: (1) een ringvormige elektrode met in het midden een doorzichtig schijfje met een hoge weerstand; (2) een dunne middenlaag van vloeibaar kristal, de eigenlijke optisch variabele lens; en (3) een onderliggende elektrode van indiumtinoxide. De precieze lenswerking hangt af van de frequentie en de amplitude van de wisselspanning die via de twee elektroden (1) en (3) op de lens (2) wordt aangebracht.

Een thermostaat meet voortdurend de temperatuur. Is die kouder dan gewenst, dan wordt de woning verwarmd. Is het warmer dan gewenst, dan stopt de verwarming. Uitvoer die weer teruggaat naar de invoer en zo onvolkomenheden rechtrekt. Dat is het handige principe van de terugkoppeling. Terugkoppeling is een belangrijke reden voor het succes van de moderne elektronische circuits. (Een opamp, of operationaal amplifier, is een voorbeeld van een elektronische component die altijd gebruik maakt van terugkoppeling.) Door de terugkoppeling kan een elektronisch systeem bijna perfect werken ondanks het feit dat de afzonderlijke elektronica-componenten verre van perfect zijn.

Hoe anders is het in de optica. Lenzen perfect slijpen, dat was en is noodzakelijk. En dat was en is een kunst. Niks terugkoppeling. De lichtstralen die op een brillenlens vallen, moeten op een precieze, van te voren bepaalde manier breken om de brildrager goed te laten lezen of scherp in de verte te laten kijken. Of om optische verlengstukken van het oog te bouwen: microscopen en telescopen. In het merendeel van de gevallen voldoet de optica met vaste eigenschappen prima. Maar niet altijd. Vraag het de sterrenkundigen die met aardse telescopen omhoog turen. De aardatmosfeer is een lastig ding, dat een goed zicht maar al te vaak in de weg staat. Vooral turbulentie in de lucht kan flink roet in het eten gooien. Waar de astronoom een mooie, strakke ronde ster zou moeten zien, maakt turbulentie er een soort dansende gespikkelde structuur van. Terwijl in het algemeen grotere optica een betere resolutie geeft, is het de turbulentie die de resolutie fundamenteel beperkt.

Om het probleem van de beeldverstorende turbulentie op te lossen, is een teruggekoppeld optisch systeem verzonden dat tegenwoordig al standaard telescooptechnologie is geworden. Het door turbulentie vervormde licht wordt gemeten, gaat naar een computer en van daaruit naar een correctiesysteem. Een optisch variabele, vervormbare spiegel filtert de verstoringen eruit, zodat er een hoge resolutiebeeld overblijft. Zo'n spiegel bestaat ofwel uit twee lagen waarvan de spiegellende eigenschappen met een elektrische spanning lokaal worden veranderd, ofwel uit een enkele laag piëzo-elektrische actuatoren, ook aangestuurd door een elektrische spanning, die de spiegel vervormen door er lokaal aan te duwen en trekken.

Het menselijk oog

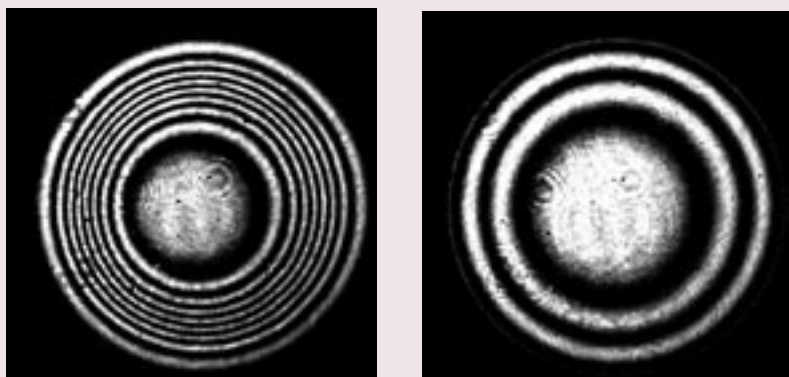
De werking van het menselijk oog is in grote lijnen net zoals die van een fotocamera. Er is een lens die het licht bundelt en convergeert, er is een pupil die als diafragmaopening functioneert en er is een netvlies dat het equivalent is van de lichtgevoelige chemische film in een analoge camera en van de elektronische CCD-sensor in een digitale camera. In de details is het menselijk oog echter veel vernuftiger en flexibeler dan een fotocamera. De ooglenzen is elastisch zodat de lens meer of minder bol kan worden, afhankelijk van de afstand waarop het oog wil scherp stellen. Veel verfijnder dan het verplaatsen van de lens, zoals bij een fotocamera gebeurt. Helemaal aan de buitenkant van het oog ligt de cornea, een gekromde dunne laag die het buitenlicht opvangt en breekt naar de lens binnenin het oog. De iris, het gekleurde deel van het oog rondom de zwarte pupil, controleert met kleine spiertjes de grootte van de pupil. Hoe minder licht er op het oog valt, hoe meer de pupil zich opent om meer licht te vangen.

Het netvlies registreert met 126 miljoen zenuwcellen het beeld dat de lens produceert. Daarvan zijn er 120 miljoen staafjes en ruim zes miljoen kegeltjes. Staafjes zijn zeer gevoelig voor licht, maar kunnen geen kleuren onderscheiden. Daarvoor zijn de kegeltjes, waarvan er drie typen bestaan: kegeltjes gevoelig voor rood, groen en blauw. De kegeltjes zijn veel minder lichtgevoelig dan staafjes. Daarom kunnen mensen bij weinig omgevingslicht ook nauwelijks kleuren onderscheiden. De staafjes zijn wel zo gevoelig dat we weliswaar iets kunnen zien, maar niet genoeg voor de kegeltjes om kleuren te onderscheiden.

Tussen de lens en het netvlies zit een holte gevuld met een soort gelei die het oog bolvormig houdt: het glasvocht. Het licht dat de lens aan de binnenkant van het oog verlaat gaat hier ongehinderd doorheen. De convergerende lichtstralen kruisen elkaar zodat uiteindelijk een op zijn kop staand beeld op het netvlies valt. Het op zijn kop staande beeld wordt vervolgens via de optische zenuw doorgegeven aan het visuele systeem van de hersenen die dit beeld weer gewoon als een rechtstaand beeld interpreteert. Aan de zijkant van het oog liggen spieren die het oog als geheel naar alle kanten toe kunnen bewegen, zodat we omhoog, omlaag, naar links en naar rechts kunnen kijken zonder het hoofd te draaien.

Vervormbare spiegels zijn snel, maar helaas ook erg duur. Vloeibare kristallen daarentegen zijn goedkoop, en worden al standaard toegepast in bijvoorbeeld displays van rekenmachines, in moderne TFT (thin film transistor)-computer-schermen en televisies. Het zijn deze vloeibare kristallen die aan de basis liggen van het optische broertje van de variabele spiegel, namelijk de variabele lens: een lens die met een druk op de knop van optische eigenschappen verandert. Tot nu toe hadden lenzen altijd vaste optische karakteristieken. Wilde je andere optische eigenschappen, dan had je een andere lens nodig. In navolging van de al eerder ontwikkelde variabele spiegels, wordt er nu ook hard gewerkt aan variabele lenzen.

Oogproblemen Kunnen we niet een variabele lens maken die de belangrijkste afwijkingen van het menselijk oog kan corrigeren? vroeg dr. Gleb Vdovin van de faculteit EWI van de TU Delft zich eind jaren negentig af. Het optische systeem van het menselijke oog voldoet onder normale omstandigheden prima (zie kader 'Het menselijke oog'), maar dat neemt niet weg dat er talloze oogproblemen voorkomen. Niet alleen bijziendheid en verziendheid, die gemakkelijk zijn te verhelpen met een bril of met contactlenzen, maar ook nog andere lensafwijkingen (zie kader 'Intrinsieke lensafwijkingen'). Daarnaast komen er afwijkingen voor in het gehele optische systeem van het oog en problemen met het scherp stellen (accommodatie). Zeker dat laatste is een veel voorkomend probleem bij het ouder worden. Door accommodatie kunnen we voorwerpen op verschillende afstanden toch scherp zien. Spieren aan de randen van de lens drukken de lens meer of minder in elkaar. Om voorwerpen dichtbij scherp te zien, moeten lichtstralen meer buigen. De spieren drukken de lens naar binnen, waardoor er een dikkere vorm ontstaat. Om voorwerpen op grotere afstanden scherp te zien, drukken



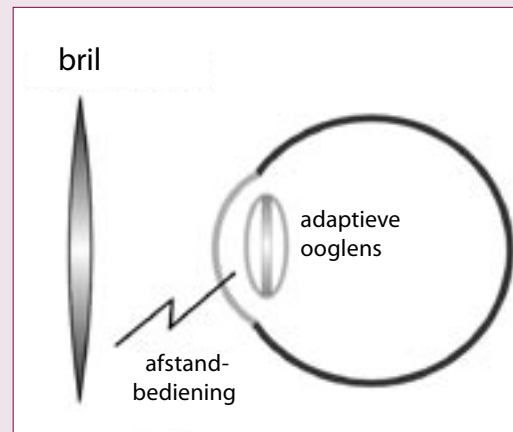
Patronen gegeneerd door de interferometer. Het linker beeld is gefocusserd voor dichtbij, terwijl het rechterbeeld ingesteld staat op afstand zien.

Intrinsieke lensafwijkingen

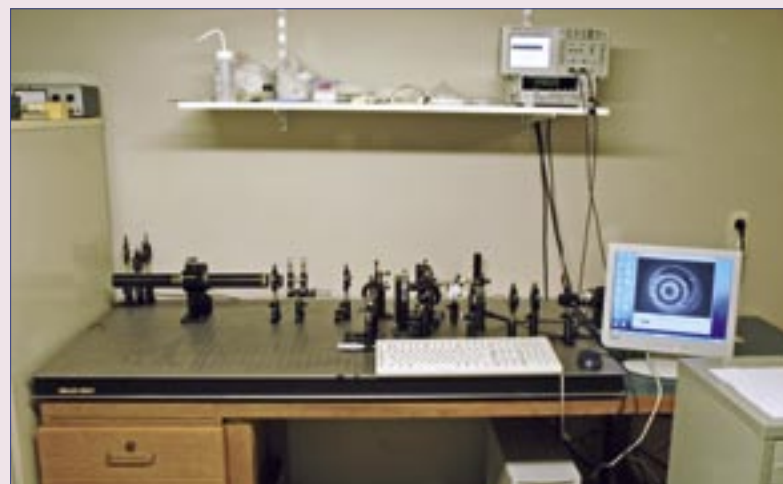
Een ideale lens beeldt één enkel punt van het origineel af als precies één punt in het beeld, zonder dat dat punt een vlek wordt of andere afwijkingen krijgt. Alleen dan is het beeld overal scherp. Elke vaste lens vertoont echter intrinsieke afwijkingen. Zo heeft elke lens een zekere sferische afwijking. Lichtstralen dicht bij de randen van de lens komen verder van het gewenste beeldpunt terecht dan zou moeten. Een beeldpunt wordt dan een soort beeldvlek. Dat gaat ten koste van zowel de beeldscherpte als het beeldcontrast. In extreme gevallen ontstaat er zelfs een halo in het beeld. Een andere bekende lensafwijking is coma. In dit geval krijgt een beeldpunt aan één kant een soort van komeetstaart. Dit effect wordt sterker dicht bij de randen van het beeld. Ook dit leidt tot een verlies aan scherpte en contrast. Bij astigmatisme hangt de scherpte van het beeld af van de oriëntatie van het origineel. De ene richting wordt dan scherper weergegeven dan de andere.

Om deze en andere intrinsieke lensafwijkingen zoveel mogelijk te corrigeren, bestaat een goede cameralens niet uit één lens, maar uit een serie van lenselementen met allemaal verschillende optische eigenschappen. Hoe groter de diafragmaopening, hoe groter trouwens de afwijkingen van de lens worden. Een goede lens moet ook bij een volledige diafragmaopening zo weinig mogelijk afwijkingen vertonen. Een fotograaf kan de lensafwijkingen dus minimaliseren door het kleinste diafragma te gebruiken.

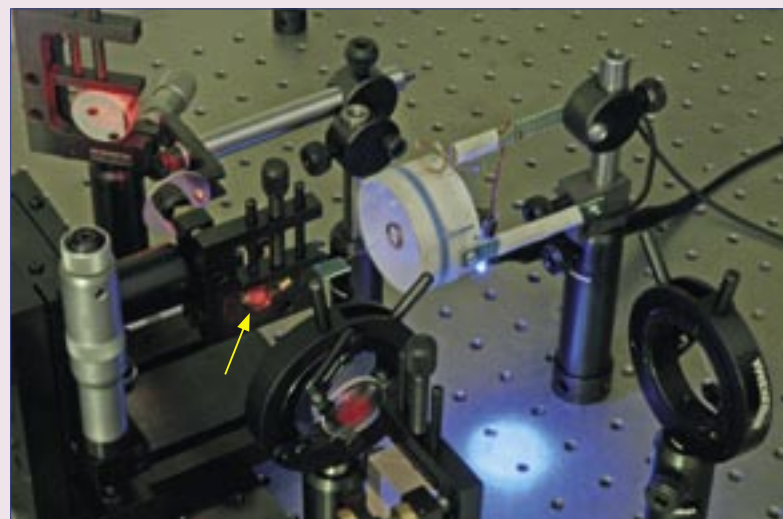
Er wordt elders onderzoek gedaan naar geïmplanteerde adaptieve lenzen die door een oogspieren worden bestuurd. De resultaten zijn nog niet erg goed. Dat is een van de redenen waarom Delftse onderzoekers zelf een adaptieve lens ontwikkelden, die bovendien meerdere oogafwijkingen zou kunnen corrigeren. Om de adaptieve lens-implantaat in het oog te kunnen aansturen, is het niet handig dit via twee draadjes te



doen, daarom bedachten de Delftenaren er een draadloze besturing omheen te bouwen. Zo kan de gebruiker met een afstandbediening de lens focuseren.



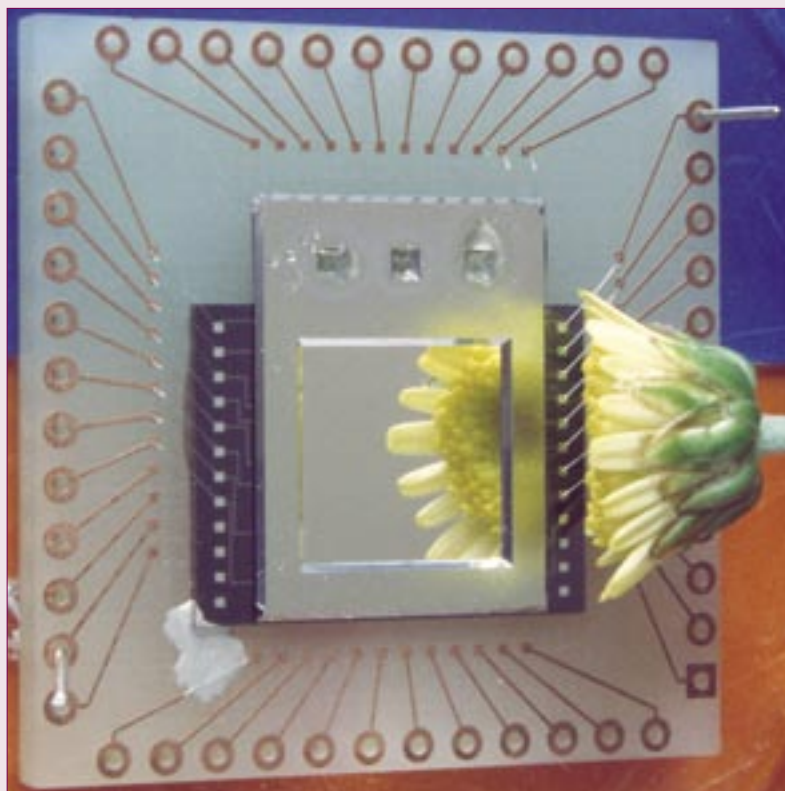
Proefopstelling voor het ontwikkelen en testen van de op afstand bedienbare lens van Dr. Alexey Simonov. De opstelling bestaat uit een laser, een interferometer om de vorm van de lens te meten en een eenheid om de lens aan te sturen.



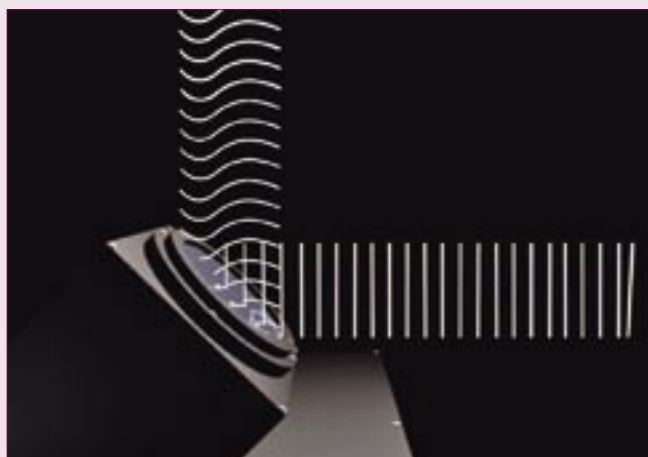
De besturing van de lens in deze proefopstelling bestaat uit een zender met een spoelantenne (licht gekleurde rol) en een spoelontvanger (binnenin de grote spoel) die direct met de lens is verbonden.



Voor gebruik in een oog is de ontvangerspoel direct om de lens aangebracht. Dit is een prototype met een diameter van 8 mm en uiteraard is hier nog geen biologisch verantwoorde beschermlaag toegepast.



In 1996 ontwikkelde Gleb Vdovin een adaptieve spiegel waarmee optische aanpassingen konden gerealiseerd, zoals in een microscoop en ultra snelle lasers (University of Michigan in Ann Arbor), in een telescoop van de National Solar Observatory van de Verenigde Staten, en in een oogheelkundig onderzoek bij de Universiteit van Murcia (Spanje).



Atmosferische turbulentie veroorzaken vaak afwijkingen in de beelden die op de aarde met een telescoop zijn te zien. Daarom wordt gebruik gemaakt van adaptieve spiegels. De Amerikaan Babcock bedacht al in de jaren vijftig een adaptieve laag olie als een vervormbare spiegel, maar het werd nooit gerealiseerd. De adaptieve spiegels uit de grote telescopen, zoals die van het European Southern Observatory (ESO) worden met grote hoeveelheden (tot wel duizenden) actuatoren aangepast.

de spieren veel minder tegen de lens, en er ontstaat een plattere vorm. In de loop van het leven wordt de menselijke lens helaas harder. Een baby heeft een lens die zo'n tien maal zachter is dan een volwassene. Hoe harder de lens, hoe moeilijker de spieren de lens van vorm kunnen veranderen, dus hoe lastiger de accommodatie.

'Er worden al intra-oculaire lenzen ingebracht om ernstige accommodatieproblemen te verhelpen, maar die werken niet erg goed', zegt Vdovin. Daar wil hij verandering in brengen.

Variabele lens Vdovin is gespecialiseerd in variabele optica en promoveerde eerder in Delft op onderzoek op het gebied van de ontwikkeling van variabele spiegels. Nu heeft hij, samen met Russische en Amerikaanse collega's, een technologie ontwikkeld waarmee hij een lens, gemaakt van een vloeibaar kristal, met een kleine wisselspanning van optische eigenschappen kan laten veranderen. De variabele lens kan de focusering aanpassen (geen enkele gewone lens kan dat) en een hele reeks van optische afwijkingen die van buiten de lens komen compenseren; ook afwijkingen die gewone brillenglazen of contactlenzen niet corrigeren.

Vdovin haalt een prototype variabele lens tevoorschijn: een klein rond lensje met een doorsnede van vijf millimeter en twee draadjes eraan.

'Het is een soort sandwich van drie lagen', laat hij zien. 'Bovenop ligt een ring van nikkel, de eerste elektrode. Binnenin de ring zit een doorzichtig schijfje gemaakt van een materiaal met een hoge weerstand. Dat vormt samen de eerste laag. De middelste laag is een 25 micrometer dik plakje vloeibaar kristal, de eigenlijke lens. Daar weer onder ligt een platte elektrode van indiumtinoxide. Dat is de derde laag.'

De lenzen zijn in hun basisvorm in 1988 bedacht door de Russische onderzoeker Naumov. In 1998 hebben Naumov samen met Loktev de lens voor het eerst gerealiseerd. De laatste werkt nu als AIO in de Delftse groep van Vdovin. 'Wij laten ze ook in Rusland maken', zegt Vdovin. 'In Delft zou dat ook wel kunnen, alleen een stuk duurder.'

De onderzoekers hadden enkele jaren nodig om de lenzen kleiner te maken en in de vingers te krijgen hoe ze de optische eigenschappen elektrisch kunnen beheersen.

De oriëntatie van de moleculen in het vloeibare kristal hangt af van de aangelegde elektrische spanning. Wanneer het voltage over het hele oppervlak dezelfde waarde heeft, krijgen alle moleculen dezelfde oriëntatie. Dat levert geen lenswerking, want voor een lens moeten de moleculen geleidelijk aan meer gekanteld zijn naarmate ze dichter tegen de rand aan liggen. Dat lukt door een wisselspanning van enkel volts aan te leggen over het binnenste van de ring. Het schijfje met hoge weerstand en het vloeibare kristal eronder creëren een denkbeeldig elektronisch netwerk van in serie geschakelde weerstanden (in het materiaal met de hoge weerstand) parallel gekoppeld aan een serie condensatoren (in het vloeibare kristal). De elektrische karakteristieken van dat circuit levert in het vloeibare kristal een elektrische spanning op met een bijna parabolisch verloop: een minimum spanning in het midden, en dan aan weerszijden een toenemende spanning naar de randen toe. Het lensje verbruikt een vermogen van slechts enkele tientallen microwatts.

De precieze vorm van de spanningsfunctie hangt af van het materiaal van het vloeibare kristal, de frequentie van de wisselspanning en de amplitude van de wisselspanning. Wanneer het vloeibare kristal is gekozen, blijven er dus nog twee parameters over waarmee de lenswerking kan worden ingesteld.

Aangestuurde kunstlens In 2004 kreeg de van oorsprong Russische optisch ingenieur Vdovin een vijfjarige Vidi-beurs van de Nederlandse organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek (NWO) om te onderzoeken of het mogelijk is een variabele lens ooit als een kunstlens in het oog aan te brengen, net zoals dat nu al geregeld gebeurt bij sommige oogafwijkingen.

'Een onderzoeksvraag die realistisch gezien ver af staat van de huidige mogelijkheden, maar die wel stimuleert om tot het uiterste te gaan in het zoeken naar nieuwe mogelijkheden om variabele kunstlenzen te maken', aldus Vdovin. De huidige intra-oculaire kunstlenzen, die al routinematig in het oog worden aangebracht bij bijvoorbeeld staaroperaties, zijn niet aanpasbaar. Ze hebben vaste optische eigenschappen.

'Wat betreft het materiaal zijn er vloeibare kristallen die zich lenen voor variabele kunstlenzen in het oog', zegt Vdovin. 'Maar de volgende vraag is hoe

iemand de eigenschappen van de variabele lens die in het oog zit kan controleren. Je wilt niet dat er twee draadjes uit het oog steken.'

Dat probleem kan makkelijk worden opgelost. Vdovins collega-postdoc Alexei Simonov bouwde een experimentele opstelling die laat zien hoe dat principe werkt.

'We hebben rondom het lensje een spoeltje aangebracht', vertelt Vdovin bij de opstelling. 'Een tweede spoeltje, met een eigen elektrische voeding, hebben we op enige afstand van de lens geplaatst. Via elektromagnetische inductie wekt een puls in de externe lens een puls op in het spoeltje van de lens. Hiermee controleren we de eigenschappen van de lens. Het externe spoeltje kunnen we in principe samen met de elektrische voeding makkelijk in het montuur van een bril plaatsen. Dat zou een praktische oplossing in de praktijk zijn.' Hij verandert de wisselspanning een beetje. Op het scherm trekt het interferentiepatroon dat de interferometer in de opstelling van de lens maakt een nieuw patroon van kromme lijnen. 'Het interferentiepatroon levert een soort kaart voor de vorm van de lens', zegt Vdovin. 'De interferometer laat een lichtbundel door de lens gaan, en laat deze interfereren met een ongestoorde lichtbundel. Dat levert het interferentiepatroon op het beeldscherm.'

Lenseigenschappen controleren De draadjes wegwerken lukt dus makkelijk door gebruik te maken van een soort besturing op afstand via elektromagnetische inductie, maar hoe krijgt de gebruiker vervolgens zelf controle over de lenseigenschappen? Dat is de vraag van de terugkoppeling. Vdovin: 'Normaal zorgen de hersenen voor de terugkoppeling van het oog. Wil je de krant lezen, dan maken de oogspieren de lens boller. Wil je een landschap bekijken, dan maken de oogspieren de ooglens minder bol, zodat je scherp stelt op oneindig. Bij een variabele kunstlens moet de terugkoppeling van buiten gebeuren. Het meest waarschijnlijk is dat de gebruiker dat handmatig doet. Wil hij iets dichtbij zien, dan maakt hij de lens boller. Wil hij iets verder af zien, dan maakt hij de lens minder bol. Idealiter zou die aanpassing automatisch moeten gebeuren, maar het is nog geheel onduidelijk hoe dat zou moeten. In theorie zou je misschien hersengolven kunnen meten, die corresponderen met het aansturen van de ogen. Dat signaal zou je dan misschien kunnen gebruiken om de nieuwe lens aan te sturen. Maar dat is een erg speculatieve route. In ieder geval is de vraag van de terugkoppeling een mooie wetenschappelijke onderzoeksvraag voor de toekomst.'

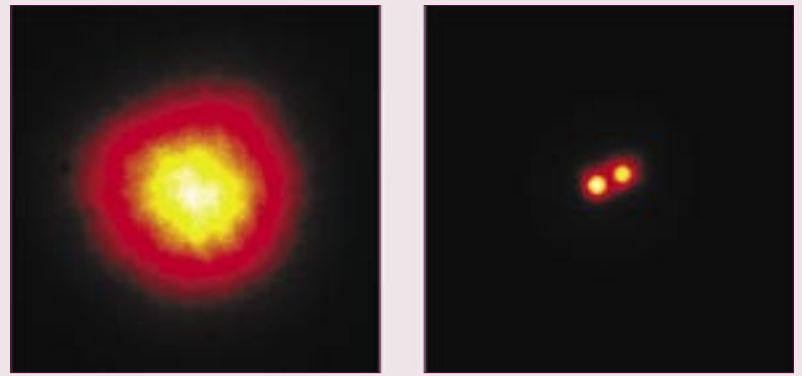
Inmiddels heeft Vdovin een lens die klaar is om in een dood oog te worden ingebracht voor de eerste experimenten. Het wachten is nog op voldoende financiering om een chirurg de lens in een dood oog te laten aanbrengen, want dat is een dure aangelegenheid. Een chirurg inhuren is duur, en ook dode ogen zijn niet goedkoop.

'Maar dan kunnen we echt onderzoeken hoe de lens werkt in het menselijke oog. Dat is een zeer praktische, nuttige vraag, die niet eerder is onderzocht', zegt de optisch ingenieur.

Een onopgelost probleem is voornamelijk dat de lens niet vouwbaar is. Dat is lastig voor de chirurg die de lens moet inbrengen. Bij de huidige kunstlenzen maakt hij een sneetje van twee millimeter. Hij brengt het opgevouwen lensje in, dat zich vervolgens vanzelf ontvouwt. Met Vdovins niet-vouwbaar lensje kan dat nog niet. Daardoor zou de chirurg een snee van acht millimeter moeten maken, wat weer de kans op complicaties tijdens de oogoperatie vergroot. Twintig jaar geleden waren dat soort sneden gebruikelijk, maar tegenwoordig zijn chirurgen gewend aan kleinere sneden, en durven de meesten een acht-millimetersnede niet meer aan. 'Of zo'n lens ooit werkelijk bij mensen wordt ingebracht, durf ik niet te zeggen', aldus Vdovin. 'Maar zoals dat gaat met onderzoek, stuit je vaak op nieuwe mogelijkheden die je van tevoren niet had bedacht, en die zeer de moeite waard zijn.'

Supernatuurlijke gezichtsscherpte Een van die zijpaden is het gebruiken van een variabele spiegel – waar Vdovin vóór de variabele lens aan werkte – om de afwijkingen van het optische systeem van het oog op een nieuwe manier te meten.

'Nu gebeurt dat nog door met een laser in het oog te schijnen en uit de reflectie op het netvlies te bepalen welke afwijkingen er in het gehele optische pad optreden', legt de onderzoeker uit. 'Maar de persoon in kwestie kan geen enkele feedback geven. Er is een zogenaamd objectieve meting van zijn oog, en dat is het dan. Er is echter weinig bewijs dat dat objectieve resultaat ook de beste



Deze foto's tonen opnamen gemaakt met de Macao-Interferometer van de 8,2 meter VLT Kuyen telescoop (Mount Paranal, Chili) in de infrarood K-band (golflengte 2,2 μm). Het toont de afbeelding van de ster HIC 59206 (optische helderheid 10) zoals verkregen vóór (links) en ná (rechts) het inschakelen van het adaptieve optische systeem. De componenten van de dubbelster zijn 0,120 boogseconde van elkaar gescheiden. De opname was gemaakt bij matig zicht; zonder adaptieve optica zou het onderscheidingsvermogen niet groter zijn geweest dan 0,75 boogseconde.

FOTO: CARL ZEISS MEDITEC AG, DUITSLAND

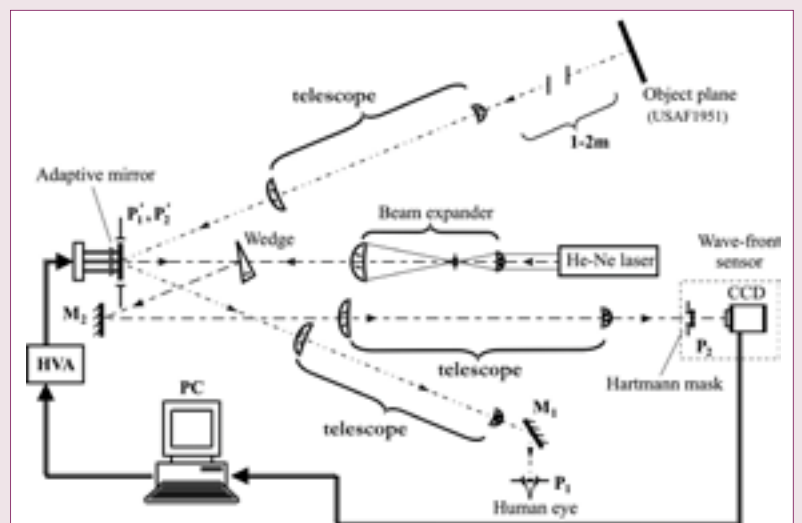


Met een refractometer kan op objectieve wijze met behulp van een laser afwijkingen aan het oog worden vastgesteld. Objectief, omdat de patiënt zelf geen invloed heeft op de uitslag.

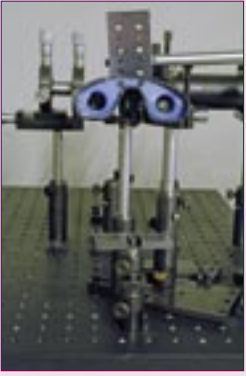


Meetopstelling voor subjectieve metingen van afwijking van het oog. Waar in bovenstaande opstelling de meting objectief is, dat wil zeggen zonder de mening van de patiënt, wordt bij deze opstelling de patiënt juist gevraagd om zelf de instellingen te vinden die hem het scherpste beeld geven.

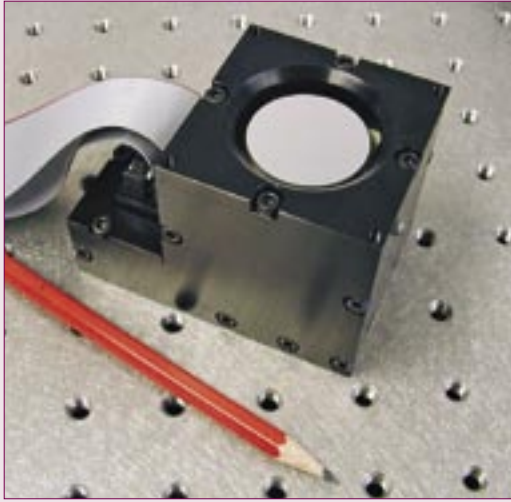
De opstelling bestaat uit een laser, een vervormbare spiegel en een regelsysteem. De patiënt bestuurt het regelsysteem met de cursorknoppen op het toetsenbord.



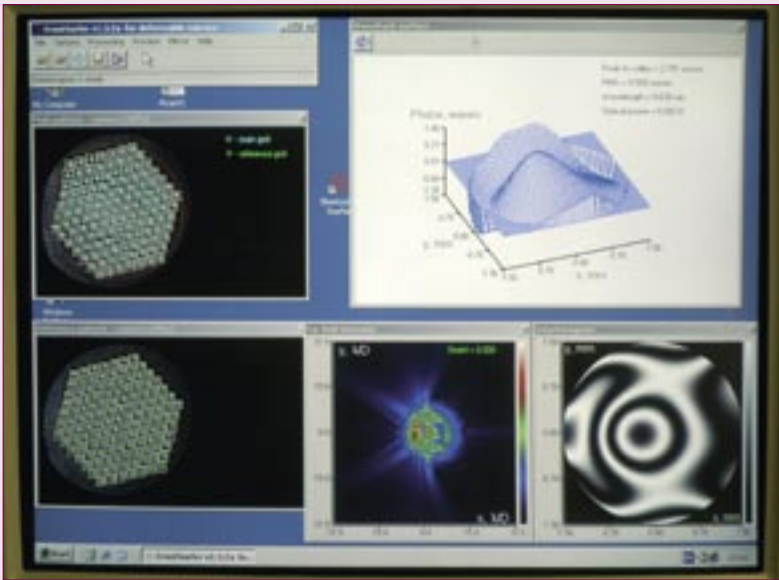
Schematische weergave van de opstelling voor subjectieve metingen en correcties aan ogen, zoals ontwikkeld en gebouwd door dr. Vadim Kijko.



De viewer van de opstelling is afkomstig uit een stuk speelgoed.



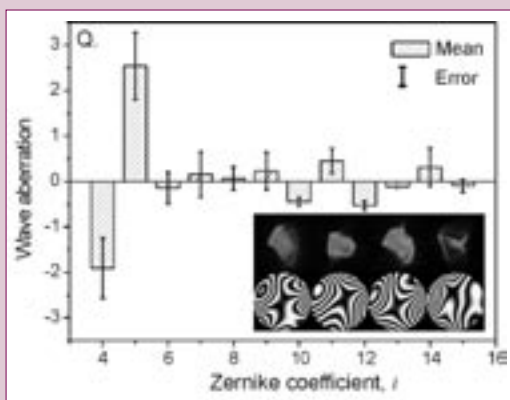
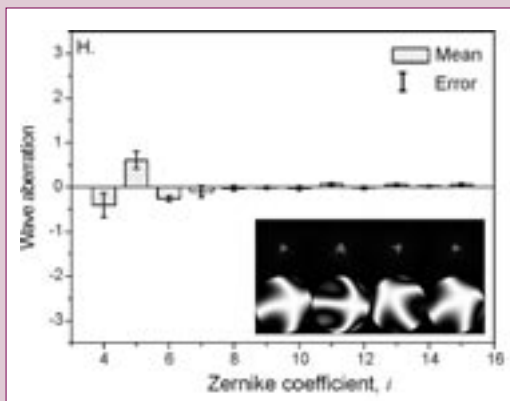
Close-up van de vervormbare spiegel in de opstelling voor subjectieve metingen.



Schereweergave van de verschillende resultaten van de subjectieve metingen. De twee hexagonale vormen aan de linkerkant geven de ruwe data van de Hartmann-sensor weer.

Rechtsboven is de berekende vorm van de vervormbare spiegel. Midden onder toont de puntverspreiding, zoals gemeten aan het oog van de proefpersoon zonder correctie, maar op basis van de vervorming van de spiegel. Het beeld rechtsonder is een andere representatie van de vorm van de spiegel.

Resultaten van metingen met patiënten in het optische laboratorium van de groep van dr. Vdovin. Er worden op twaalf afwijkingen gemeten. Boven: Uit de metingen blijkt dat het rechter oog weinig afwijkingen vertoont. Onder: Dit oog heeft een sterke cilinder en hogere orde afwijkingen, zoals coma, trifooil en een sferische afwijking.



aanpassingen levert voor de persoon in kwestie. Wij willen nu een systeem maken dat die objectieve meting combineert met een beoordeling door de persoon zelf. Iemand moet zelf aangeven wat voor hem het beste is.' Bij de experimentele opstelling voor zo'n systeem op een tussenverdieping van het faculteitsgebouw laat de onderzoeker zien hoe het werkt. Een proefpersoon kijkt via een optisch systeem met een variabele spiegel naar een bepaalde referentiekaart met strepen erop. Met behulp van de omhoog- en omlaagtoetsen van een toetsenbord kan de proefpersoon twaalf onafhankelijke optische afwijkingen van de spiegel bijstellen, bijvoorbeeld astigmatisme, coma en sferische afwijkingen (zie kader 'Intrinsieke lensafwijkingen'). 'Dat we dat voor twaalf onafhankelijke afwijkingen kunnen doen, is echt bijzonder', zegt Vdovin. Voor elke afwijking kan de proefpersoon zelf bepalen wat voor hem de beste instelling van de spiegel is, wat het beste zicht geeft op de gestreepte referentiekaart. Het eindresultaat is dan een persoonlijk optimum. Vdovin heeft inmiddels aangetoond dat het systeem werkt. 'Bij verschillende experimenten komen dezelfde proefpersonen tot dezelfde voor hen persoonlijke instellingen. Je weet dan precies welke afwijkingen het normale oog vertoont en welke optische eigenschappen de lens moet krijgen om die afwijkingen te corrigeren.' Brillenglazen kunnen slechts twee van die twaalf afwijkingen corrigeren: niet-scherp zien, dat wil zeggen bijziendheid of verziendheid (op te lossen door de juiste kromming van de brillenglazen), en astigmatisme (op te lossen met een zogeheten cilinder in de brillenglazen). Voor alle andere afwijkingen is een ingewikkelder optisch systeem buiten het oog nodig, of een intra-oculaire lens bijvoorbeeld gebaseerd op een vloeibaar kristal. De correctie van alle twaalf afwijkingen tegelijk leidt tot een gezichtsscherpte die zelfs beter is dan de natuurlijke gezichtsscherpte: een 'supernatuurlijke' gezichtsscherpte. 'Proefpersonen in onze experimenten vertelden dat ze met de correcties veel beter zagen dan zonder, ook als ze geen bril of contactlenzen droegen', aldus Vdovin. 'En als ze die wel droegen, dan zagen ze met de nieuwe correcties nog steeds beter dan met de beste bril of de beste contactlenzen. Ook zien ze over een groter deel van het oog scherp.'

Zien zoals na de operatie Behalve de optisch variabele kunstlens voor in het oog, en het variabele optische systeem om oogafwijkingen zowel subjectief als objectief te meten, heeft Vdovin nog een derde toepassing van zijn werk in het hoofd: een combinatie van de eerste twee.

'Bij het aanbrengen van de huidige kunstlenzen in het oog weet de patiënt nooit van tevoren hoe hij na de operatie gaat zien. Dat weerhoudt sommige patiënten zelfs van een ingreep. Met onze kennis van de adaptieve optica moeten we een systeem kunnen maken waarmee de patiënt vóór de operatie al kan zien hoe hij na de operatie gaat zien. Zo'n systeem bestaat niet, en toen we uit gingen zoeken of er behoefte aan zo'n systeem bestaat, bleek er veel belangstelling voor te bestaan.' Zo'n systeem werkt trouwens niet voor mensen met zeer ernstige staar, maar wel voor enkele andere specifieke optische afwijkingen van het oog, zoals bijvoorbeeld een sterke afwijking van de cornea.

Vdovin denkt aan een systeem dat allereerst de oogafwijkingen precies meet, vervolgens op basis van die metingen de corrigerende lens maakt, en tenslotte – en dat is de stap die op dit moment nog niet bestaat in de praktijk – de patiënt via een optisch systeem met een aanpasbare spiegel door de nieuwe lens laat kijken. Het optische systeem is dan zodanig uitgedokterd, dat de patiënt nog vóór de operatie kan zien alsof hij die ernstige optische afwijking niet heeft. De lens is gemaakt op basis van een objectieve meting. Door de patiënt vervolgens zelf de variabele spiegel te laten bedienen, kan hij tevens de voor hem persoonlijk beste instelling vinden.

Diverse industriële partners hebben al belangstelling voor het werk van de postdoctorale onderzoeker. 'Drie gebruikersgroepen kijken over mijn schouders mee naar het onderzoek', zegt Vdovin. 'Het Groningse bedrijf Advanced Medical Optics, dat dertig procent van alle intraoculaire lenzen in de wereld maakt, het bedrijf Procornea uit Eerbeek, producent van contactlenzen. En het bedrijf AkkoLens, een consultingbedrijf op het gebied van lenzen.'

Voor nadere informatie over dit onderwerp kunt u contact opnemen met dr. Gleb Vdovin, tel. (015) 278 6165, e-mail g.vdovin@ewi.tudelft.nl