

Meten van de contrastwaarden op een testkaart

De GECKO, de GROMAT en de Schildpad

*Aart C. Kooijman, Nomdo M. Jansonius, Albert Damhof
Laboratorium voor Experimentele Oogheelkunde, Rijksuniversiteit Groningen*

Details zien

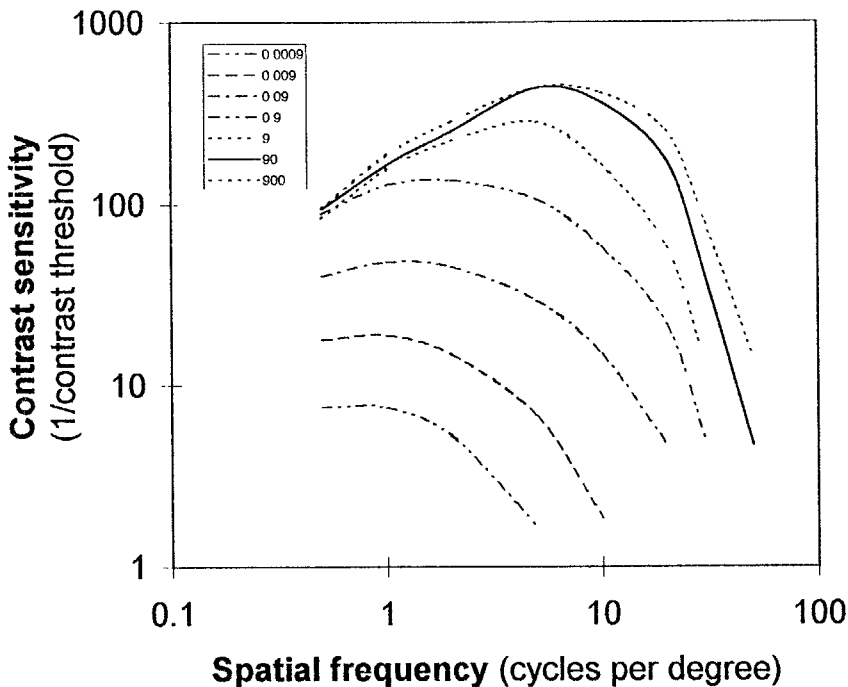
De bekendste test voor het gezichtsvermogen is de meting van de gezichtsscherpte met de letterkaart op 5 of 6 meter afstand (geparafraseerd door kaarten met de teksten zoals: 'TOO MUCH SEX MAKES SHORT SIGHTED') De gezichtsscherpte wordt in eerste instantie gemeten om de optimale optische correctie te bepalen, de sterkte van de brillenglazen. Het onderzoek zegt echter ook iets over de kwaliteit van de oogoptiek en over het beeld oplossend vermogen van het netvlies van het oog. Tegelijkertijd moeten we ons realiseren dat het ook een heel beperkte meting is: er wordt bepaald wat het fijnste zwart-wit patroon is dat nog gezien wordt. Als we dit vergelijken met het onderzoek van de kwaliteit van een optische lens dan komt het overeen met het bepalen van de hoogste spatiale frequentie die nog waarneembaar is in het afbeeldingsvlak (lijnen per mm). De modulatie-overdracht van de lens bij lagere spatiale frequenties blijft onbekend. De gevoeligheid en het scheidend vermogen van de detector bij de betreffende spatiale frequentie mag natuurlijk geen limiterende factor wezen bij het kwaliteitsonderzoek van een optische lens. Bij het oog is dat ten dele wel het geval. Het netvlies werkt als detector en de matrix van fotoreceptoren in het centrum van het netvlies (de fovea) is maar net fijnmazig genoeg om de afbeeldingskwaliteit van de oogoptiek te kunnen waarderen. Iets verder perifeer ($> 2^\circ$) is de netvliesstructuur al te grof. De activering van naast elkaar lig-

gende fotoreceptoren wordt in het netvlies verwerkt tot een verschilsignaal, wat uiteindelijk leidt tot de perceptie van het aangeboden stimuluspatroon. Bij lage spatiale frequenties wordt de modulatie-overdracht van de lens beter, maar ook worden op het netvlies de afstanden groter tussen de receptoren die geactiveerd worden met minder en meer licht. Als de gevoeligheid voor het verschil in stimulatie van receptoren kleiner wordt bij grote afstanden op het netvlies, dan vermindert dat de gevoeligheid voor patronen met lagere spatiale frequenties.

Oog voor nuances

Contrastgevoeligheid wordt meestal gemeten door bij verschillende spatiale frequenties het minimale contrast van het aangeboden sinusvormig gemoduleerde patroon te bepalen dat nog gezien wordt. De contrastgevoeligheid als functie van de spatiale frequentie is de contrastgevoelighedscurve (figuur 1). Bij voldoende hoge luminantie ($> 1 \text{ cd/m}^2$) ligt de hoogste spatiale frequentie die nog gezien kan worden, tussen 30 en 60 perioden per graad (ppg). Het aangeboden patroon moet dan een luminatiecontrast hebben van 1 (In dit artikel zullen we het steeds hebben over het Michelsoncontrast van een sinusvormig gemoduleerd patroon of van een contraststap = $[\text{hoogste luminantie} - \text{laagste luminantie}] / [\text{hoogste luminantie} + \text{laagste luminantie}]$). De contrastgevoeligheid wordt gedefinieerd als $1/\text{drempelcontrast}$. De hoogste contrastgevoeligheid hebben

Contrast sensitivity and retinal illumination



Figuur 1

Contrastgevoeligheid als functie van de spatiele frekwentie bij verschillende retinale verlichtingssterktes (0,0009 - 900 troland). De troland is een maat voor de retinale verlichting en wordt berekend als luminantie x pupiloppervlak, respectievelijk in candela/meter² en millimeter². Ter oriëntatie een modaal monitorscherm van 30 cd/m² dat bekeken wordt met een pupil met een diameter van 4 mm (12,5mm²) levert een retinale verlichtingssterkte van 377 troland op, waarmee we dus in het gebied zitten waar de contrastgevoeligheid optimaal is (nagetekend van Van Nes F.L., Bouman M.A. (1967) Spatial transfer in the human eye J Opt Soc Am 57:401-406)

mensen bij sinus gemoduleerde patronen met spatiële frequenties tussen 2 en 5 ppg en is ongeveer 200-500. We zijn dan in staat om contrastverschillen te zien die tussen 0,002 en 0,005 liggen. Dit is de top van de contrastgevoeligheidscurve. Bij lagere spatiële frequenties neemt de contrastgevoeligheid weer af, waarschijnlijk omdat de afstanden op de retina tussen sterkst en zwakst gestimuleerde cellen te groot

wordt. Bij lagere luminaties is er geen sprake van een gevoeligheidscurve met een top. Bij een luminantie van 10⁻³ cd/m² is de hoogste spatiële frequentie, die gezien kan worden 5 ppg en neemt de contrastgevoeligheid monotoon toe tot ongeveer 30 bij 0,5 ppg¹. Voor een zeer klein deel kunnen deze verschillen samenhangen met de vergroting van de pupil en de daarmee samenhangende grotere aberraties van de

oogoptiek van de proefpersonen bij lagere luminanties. Maar ook bij een vaste intree pupil wordt dit effect gemeten. Veel belangrijker is dat de receptieve velden in de retina waarin signalen van receptoren worden samengevoegd, bij minder licht groter worden. Er is te weinig licht voor de kegeltjesreceptoren, de staafjesreceptoren staan verder uiteen in het netvlies en de signalen van meerdere staafjes worden gesommeerd. Deze gegevens zijn van toepassing als de proefpersoon de blik fixeert op het patroon. Als de proefpersoon opdracht krijgt een aantal graden naast het patroon te kijken, dan valt de afbeelding op een perifere deel van het netvlies. Zowel het netvlies als het deel van de hersenen waar de visuele informatie naar toe gaat, de visuele cortex, hebben voor perifeer aangeboden informatie een lager spatieel oplossend vermogen dan voor centraal aangeboden beelden. Alleen in een klein gebiedje (diameter ongeveer 2°) rond ons fixatiepunt zien we echt scherp. (Als u, als lezer, uw blik op één woord fixeert bent u waarschijnlijk niet, of slechts met veel moeite, in staat om het woord ernaast of erboven te lezen.)

Contrastgevoeligheid

De gezichtsscherpte is in feite slechts één punt van de contrastgevoeligheidscurve, namelijk het punt dat aangeeft wat de hoogste spatiele frequentie is die we kunnen zien. De rest van de curve geeft aan hoe goed we in staat zijn om grovere patronen te zien met lagere contrasten. Voor het waarnemen van de wereld om ons heen, maar ook voor het lezen van tekst is de contrastgevoeligheid een belangrijkere parameter dan alleen de gezichtsscherpte. Bij goedziende mensen zullen gezichtsscherpte en contrastgevoeligheid vrijwel op identieke wijze met elkaar samenhangen, maar vooral bij mensen die slechtziend zijn ten gevolge van een gestoorde neuronale signaalverwerking (afwijking aan het netvlies, de oogzenuw, etc.) kan deze samenhang verbroken zijn. Om te weten welk soort problemen iemand kan

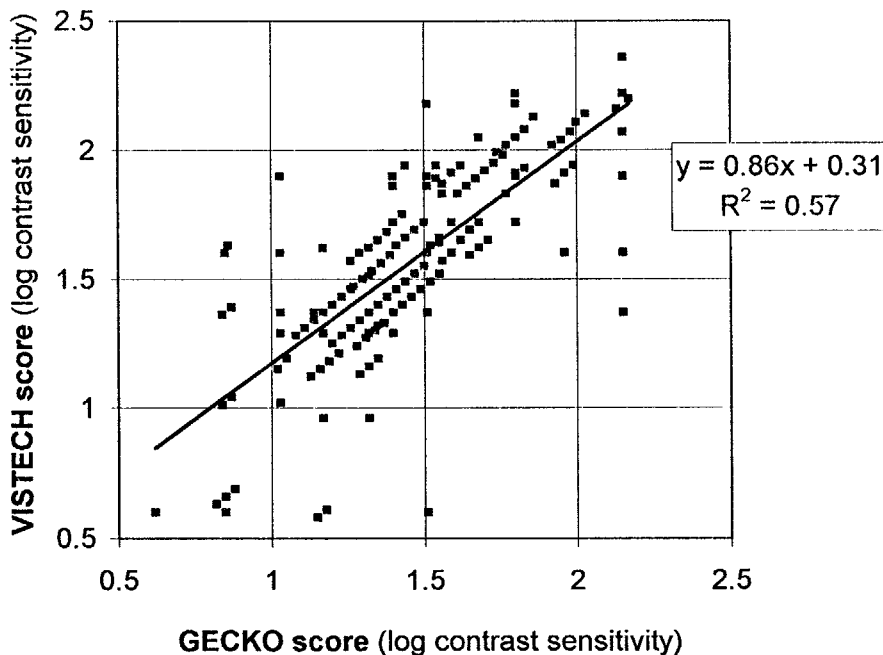
ondervinden is het juist bij deze mensen belangrijk om meer dan alleen de gezichtsscherpte te meten. Voor het meten van de contrastgevoeligheid zijn diverse meetmethoden voorhanden. De mooiste methode is een meting met behulp van een computergestuurde monitor bij verschillende spatiele frequenties, zodat een complete contrastgevoeligheidscurve wordt verkregen. Dit kost per oog ongeveer 10 minuten. Bij slechtziende mensen is het wenselijk om de meting bij een paar verschillende luminanties (25, 100 en 400 cd/m^2) te doen. Dit betekent een half uur tot een uur onderzoekstijd. Omdat er bij de slechtziende persoon tijdens het visueel functieonderzoek nog veel meer onderzoeken gedaan moeten worden, is de beschikbare tijd beperkt.

Ook de totale onderzoekstijd moet beperkt blijven omdat anders de meetresultaten beïnvloed worden door vermoeidheid van de onderzochte persoon. Er zijn dus een aantal redenen om bij onderzoeken te zoeken naar testmethoden die de onderzoekstijd bekorten zonder essentiële informatie te verliezen. Hieronder bespreek ik twee testen die we bij het Laboratorium voor Experimentele Oogheelkunde hebben ontwikkeld.

Contrastgevoeligheid-testkaart (de GECKO)

Er zijn diverse testen (vrijwel allemaal met gedrukte kaarten!) ontworpen om de onderzoekstijd te bekorten. Geen van deze testen kon ons volledig bekoren en daarom hebben we, geïnspireerd op een bestaand voorbeeld², een test gemaakt waarbij we hoopten te kunnen meten hoe hoog de top van de contrastgevoeligheidscurve ligt (Groningen Edge Contrast Kaart Ontwerp = GECKO)³. We gebruiken een luminantiestap om de meting zoveel mogelijk onafhankelijk te maken van een bepaalde spatiele frekwentie (zie de objecten in figuur 4). Met deze kaart meten we een contrastgevoeligheid die binnen een vrij brede marge ($\pm 0,5 \text{ log!}$) overeenkomt met de contrastgevoeligheidswaarde van de top

GECKO versus VISTECH



Figuur 2

Relatie tussen gemeten contrastgevoeligheid met de GECKO en de hoogste waarde van de contrastgevoeligheidsfunctie gemeten met de Vistechkaart in een revalidatie-instelling voor slechtzienden van Visio. Punten die op elkaar vielen (beide kaarten hebben een beperkt aantal discrete scoringsniveaus) zijn diagonaal verspreid. De correlatiecoëfficiënt is berekend op de oorspronkelijke waarden.

van de contrastgevoeligheidscurve zoals die met een andere kaarttest (Vistech VCST 6500) is gemeten (figuur 2).

Jansonius toonde aan dat als de contrastgevoeligheid verlaagd wordt door defocusering, de edgecontrastgevoeligheid het meest overeenkomt met de contrastgevoeligheidsverlaging voor een patroon van 3 ppg⁴. Uit de literatuur is bekend dat de meetresultaten met de Vistech nogal veel spreiding vertonen waardoor de Vistech geen ideale test is om de vergelijking mee

uit te voeren. In de loop van dit jaar zullen we ook meetresultaten gaan verzamelen om de vergelijking tussen een met een monitor gemeten contrastgevoeligheidscurve en de GECKO te kunnen uitvoeren.

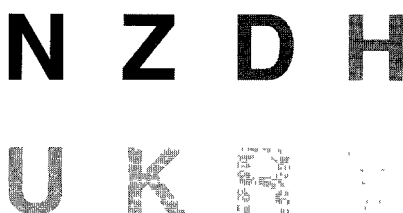
Vergrotings-testkaart (de GROMAT)

Veel slechtziende mensen hebben een vergroting nodig om te kunnen lezen. Door een loep slechts een deel van de tekst te zien is. Hoe sterker de vergroting van de loep hoe minder tekst we zien. Bovendien

is de diameter van sterke optische loepen ook nog kleiner dan van zwakke loepen. Ook zonder deze beperking door de loepgrootte is het lastig om sterk vergrote tekst te lezen, bij een evenredig vergrootte bladspiegel. Bij 10 maal vergroting is een krantenkolom meer dan 50 cm breed. Normaal kunnen we een krantenkolom lezen zonder hoofdbewegingen en met minimale oogbewegingen. Het lezen van een tekst van 50 cm breedte lukt alleen door extra hoofd- en oogbewegingen te maken, of door de tekst te verschuiven. Aan de andere kant wordt de leessnelheid ook ernstig vertraagd door een te kleine vergroting. Het is daarom nuttig om te zoeken naar een vergroting die voldoende is om tegemoet te komen aan het verminderde oplossend vermogen en waarbij tegelijkertijd zo weinig mogelijk andere problemen worden opgeroepen. Uit de literatuur⁵ is bekend welke restricties er ongeveer bestaan. Daaruit blijkt dat niet alleen spatieel oplossend vermogen maar ook contrastgevoeligheid een rol speelt. Op basis van deze kennis is in ons laboratorium een test ontworpen (GRoningen MAgnification Test = GROMAT) waar deze aspecten in verwerkt zijn (figuur 3)⁶

Testen maken en controleren (schildpad)

De GROMAT en de GECKO zijn gedrukte testen. Het ontwerp is ingevoerd in de computer en wordt uitgedraaid op fotografisch papier. Een groot probleem bij het drukken bleek het verkrijgen van de juiste grijswaarden op het papier. Op beide testkaarten staan testobjecten met verschillende grijswaarden. Van sommige objecten moeten we de grijswaarden kunnen meten met een nauwkeurigheid van 0,1%. Het eerste probleem is de inregeling van het afdrukprocédé. Het probleem wat daarna komt bleek nog lastiger, namelijk het meten van de werkelijke waarden van de gedrukte contrastkaarten. We begonnen hoopvol te meten met luminantiemeter (Minolta LS110). Bij hoge contrastwaarden (boven de 15%) ging dat goed, maar bij waarden onder de



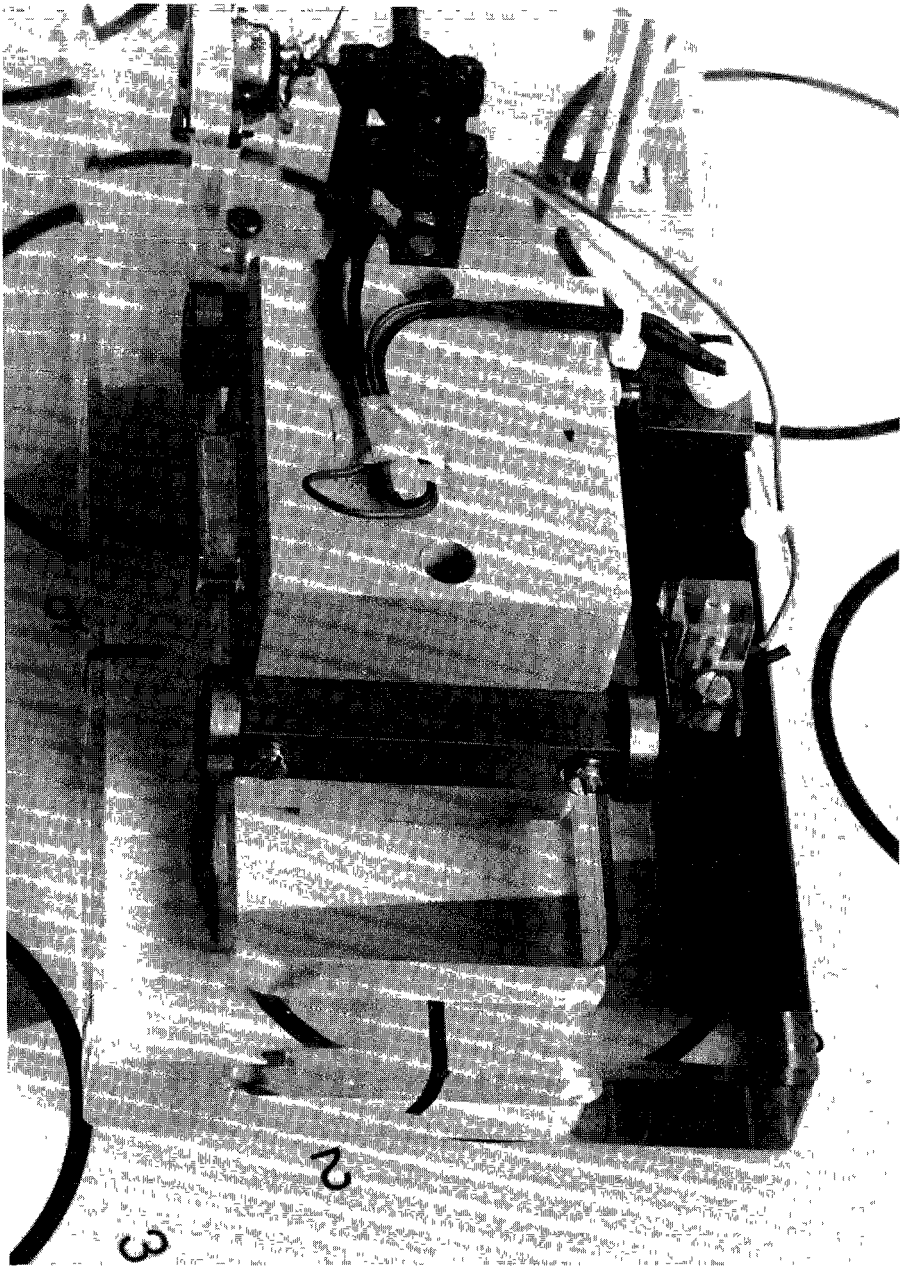
Figuur 3

De GROMAT testkaart. Een testset bestaat uit 4 kaarten met onderlinge grootteverhoudingen van 1:2:4:8. De grijswaarden variëren van 100% tot 2% (Weber contrast).

5% kregen we last van de verlichtingsgradiënten over de testkaart. Door de kaart ondersteboven te hangen en door meerdere metingen uit te voeren konden we resultaten meten die betrouwbaar waren. Dit meetprotocol was echter zo arbeidsintensief dat het onaantrekkelijk werd om meerdere afdrukken te laten maken en te controleren, zodat ook anderen met deze kaarten zouden kunnen werken.

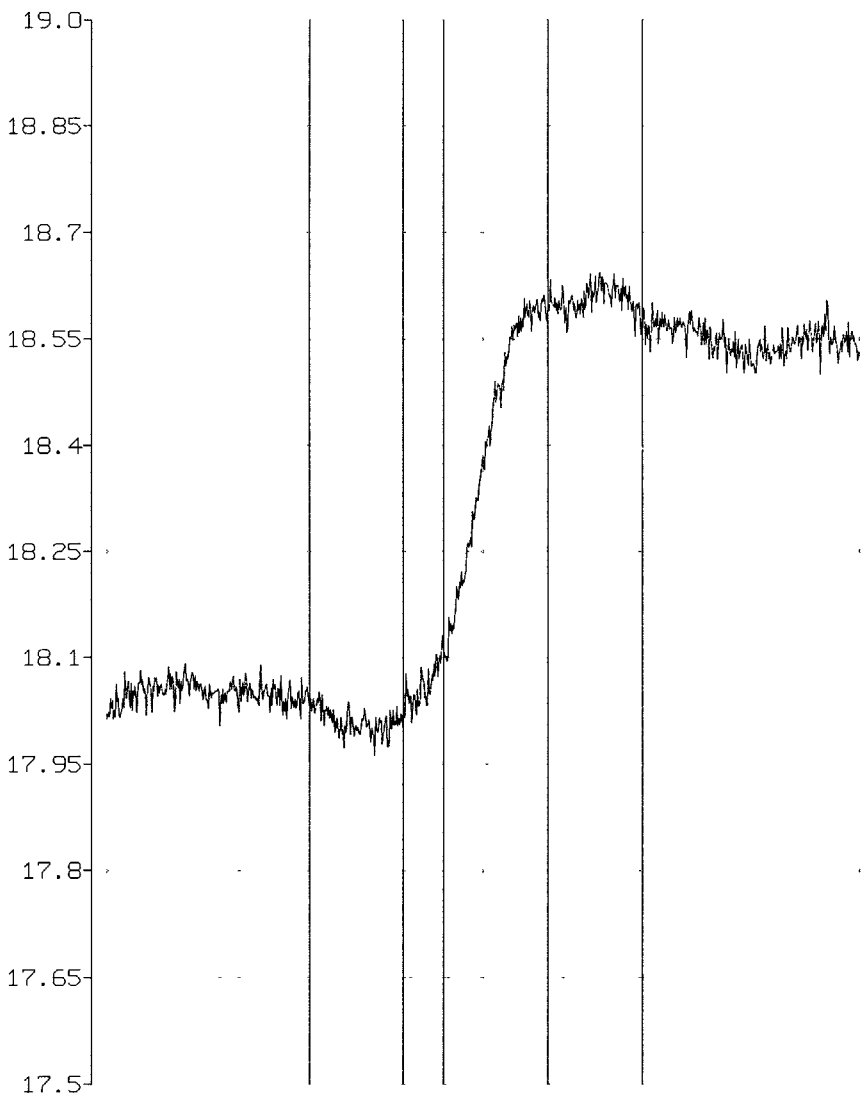
Om de meting sneller en nauwkeuriger te maken hebben we een reflectometer gebouwd die voor ons doel geschikt is (fig. 4).

In een blok ondoorzichtig kunststof (de schildpad) zit een groene LED (Siemens LD57C) die onder een hoek van 69° door een boorgat het er onderliggende vlak beschijnt. Vanuit een ander boorgat maar onder dezelfde hoek kijkt een silicium fotodiode (Siemens, BPW21 met VI filter) naar de door de LED beschenen plek. De twee boorgaten liggen in vlakken die loodrecht op het te meten vlak staan, en die ook onderling loodrecht op elkaar staan. Op deze



Figuur 4

De Schildpad In het grijze blokje zit een LED als lichtbron en een fotodiode om de reflectie van het onderliggende vel papier te meten Het blokje wordt over het vel heen en weer getrokken tijdens de meting De spleet onder het blokje is zo smal dat de meting onder gewone kamerverlichtingsomstandigheden kan plaatsvinden. Onder de Schildpad is een deel van de GECKO te zien



Figuur 5

Een registratie van een reflectiesignaal van een GECKO-object met een laag contrast ($\sim 1,5\%$) De onzekerheid in de reflectiewaarden wordt niet bepaald door de hoogfrequent ruis, maar door de variaties in de reflectie over het papier

manier voorkomen we dat we bij het meten last hebben van spiegelreflecties op het papier. De grootte van de boorgaten bepalen het spatieel oplossend vermogen van de meting. Het boorgat van de LED heeft een diameter van 2,5 mm en de fotodiode

ontvangt het gereflecteerde licht via een perspex lichtgeleiderpijpje met een diameter van 1,5 mm. De openingen van beiden zitten een paar mm boven het meetvlak. Deze configuratie beperkt het spatieel oplossend vermogen en de smalste zwarte

lijn waarbij nog het minimale niveau gemeten wordt is heeft een breedte van 7,5 mm. Voor onze toepassing is dat ruim voldoende.

De onderzijde van de schildpad wordt op 0,1 mm boven het papier heen en weer bewogen over een weglengte van 33 mm door een motortje met een excentrische overbrenging op een 'zuiger'stang. Een heen en teruggaande beweging duurt 3 seconde. De bewegingssnelheid zal door de constructie ongeveer sinusvormig zijn. Een constante hoogte van de schildpad boven het papier is essentieel voor een betrouwbaar meetresultaat. Dit werd bereikt door een goede 'zuiger'stang geleiding zodat zonder wringing de schildpad heen en terug wordt bewogen.

Het signaal van de fotodiode verwerken we met een data-acquisitieprogramma dat we ter beschikking hebben voor electrofysiologisch onderzoek (Poly5, Inspektor Research systems, Amsterdam). Op een vaste plaats van het traject van de schildpad wordt een trigger doorgegeven en begint de meting van de reflectie langs het meettraject van de schildpad. Bij grote contrasten is één enkele meting voldoende voor een betrouwbaar resultaat. De nauwkeurigheid die we wensen is evenredig aan de contrast waarde en is in de orde van 5% van de contrastwaarde. Bij contrastwaarden van 1% - 10% kunnen we de nauwkeurigheid van de meting verbeteren door de schildpad meerdere malen het traject te laten lopen en de reflectiewaarden te middelen. De korte afstand tussen de buik van de schildpad en het papier heeft een onverschillen oordeel. Het blijkt dat we de metingen onder normale binnenverlichting kunnen uitvoeren zonder dat de fotocel iets van het kamerlicht meet. We zijn nu in staat om het gereflecteerde signaal te meten met een nauwkeurigheid van 1:1000 en deze nauwkeurigheid wordt bepaald door de plaatselijke variaties in de reflectie van het papier (fig 5).

De onzekerheid in het berekende Michelsoncontrast is daardoor beperkt tot 0,0007 hetgeen voor ons juist voldoende is en het

meten van de contrastwaarden van onze kaarten gaat eenvoudig en snel.

We blijven zitten met de vraag of we voor ons doel een meetapparaat gemaakt hebben wat bij wijze van spreken al op iedere straathoek te vinden is. Uit onze contacten met de drukkers leek het daar niet op. De subtiele contrastverschillen die wij lieten drukken, lagen ver buiten het gebied wat voor hun dagelijkse werk belangrijk is.

Als er lezers zijn die ons kunnen informeren over vergelijkbare systemen dan stellen we die informatie zeer op prijs.

Literatuur

1. Meeteren A van en Vos J.J. (1972) Resolution and contrast sensitivity at low luminances. *Vision Res.* 12: 825-833.
2. Verbaken J.H., Johnston A.W. (1986) Population norms for edge contrast sensitivity. *Am. J. Optom. Physiol. Opt.* 63: 724-732
3. Kooijman A.C., Stellingwerf N., van Schoot E.A.J., Cornelissen F.W. en van der Wildt G.J. (1994) Groningen Edge Contrast Chart (GECKO) and glare measurements. In: *Low Vision: Research and new developments in rehabilitation* Ed. A.C. Kooijman, P.L. Looijestijn, H.J. Welling, G.J. van der Wildt, IOS Press, Amsterdam.
4. Jansonijs N.M. en Kooijman A.C. (1997) The effect of defocus on edge contrast sensitivity. *Ophthal Physiol. Opt.* 17: 128-132.
5. Rubin G.S., Legge G.E. (1989) The psychophysics of reading. VI. The role of contrast in low vision. *Vision Res.* 29: 79-91.
6. Jansonijs N.M., Kooijman A.C. en Koopmans-Smink B (1996) The GROMAT a magnification predicting contrast sensitivity test. *Visueel*, 1996-4: 45-49.