



Visuele meting van adaptatie en van de wederzijdsche beïnvloeding van netvlieselementen

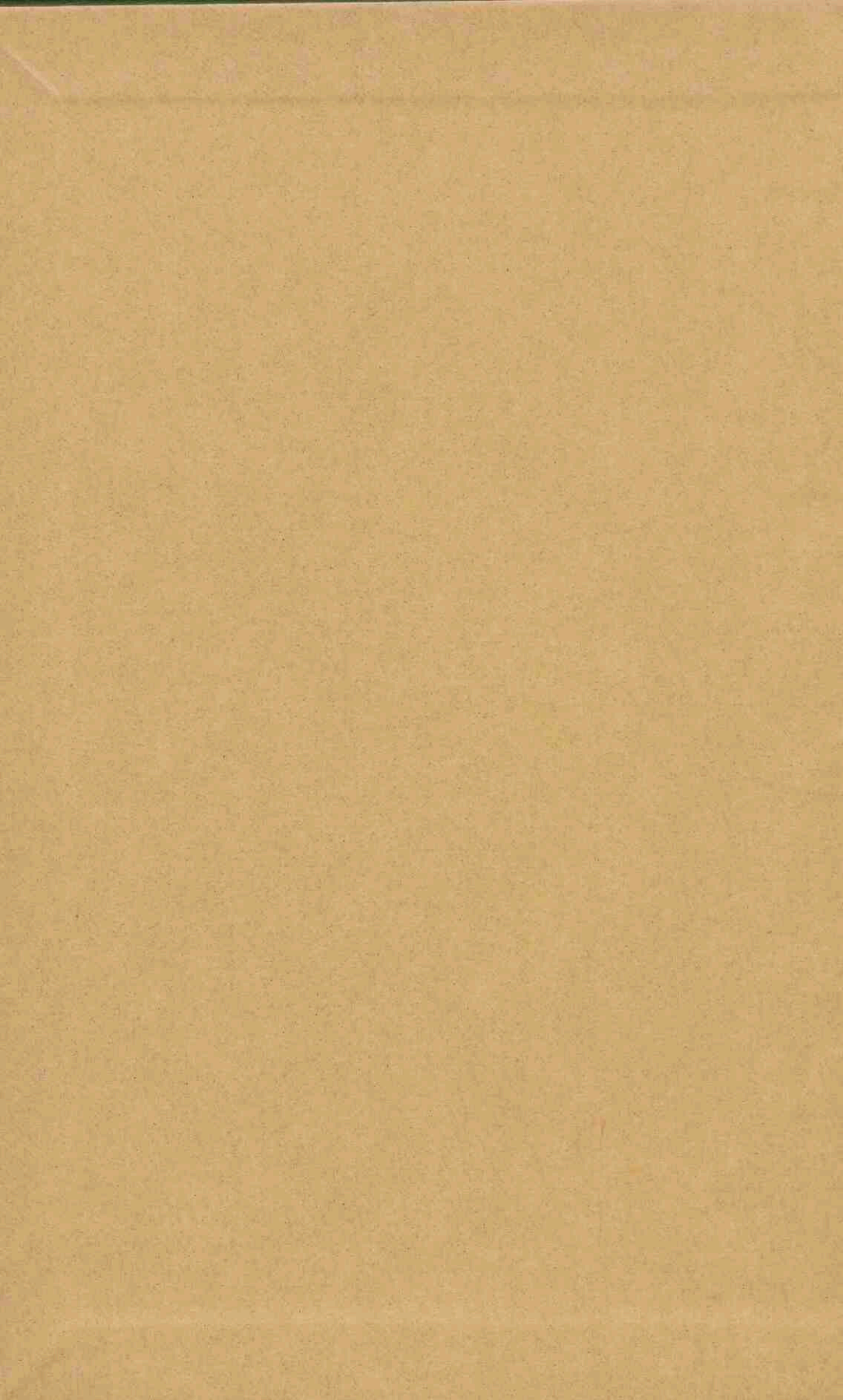
<https://hdl.handle.net/1874/323231>

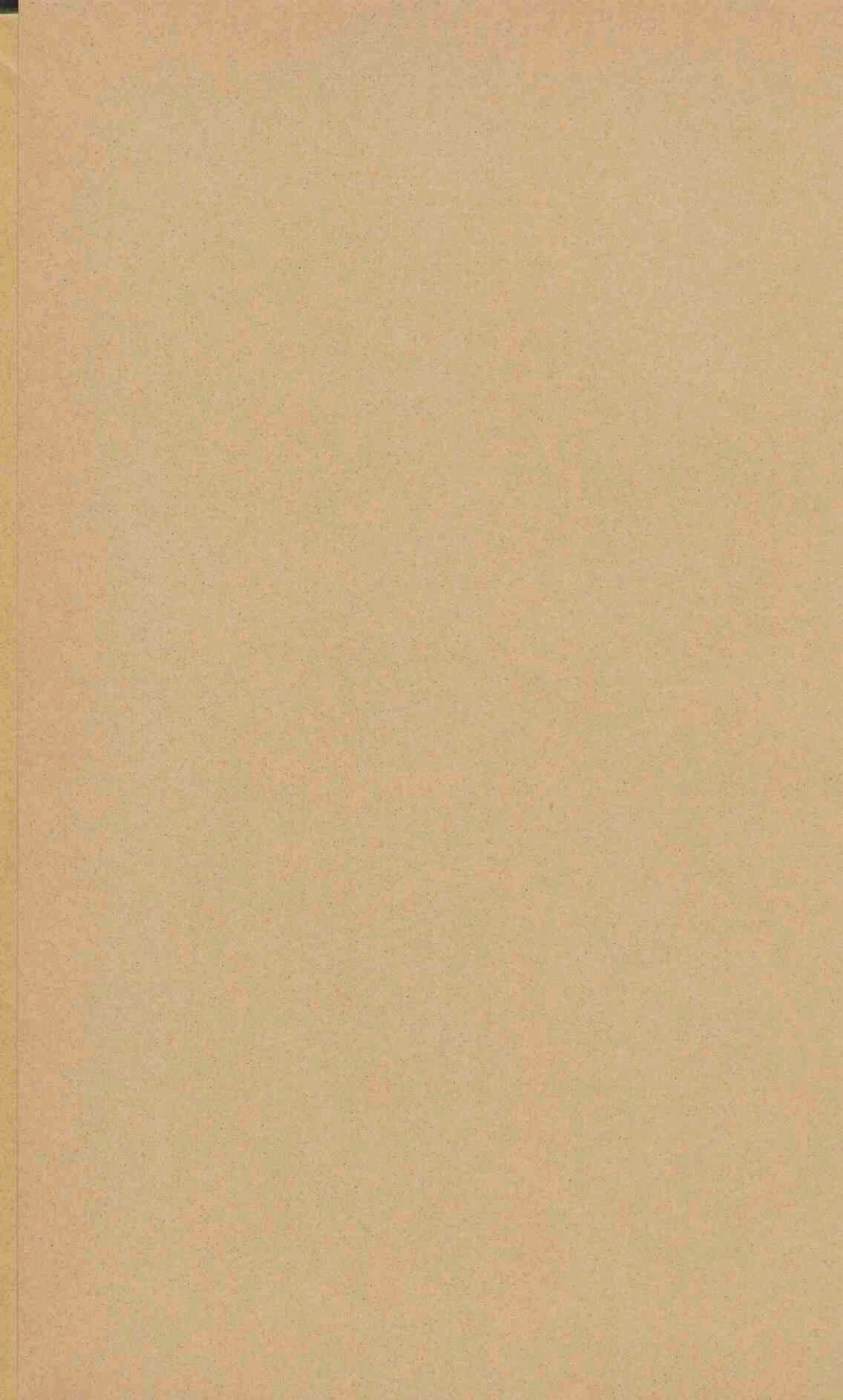
A. qu. 192, 1937.

VISUEELE METING VAN ADAPTATIE
EN VAN DE WEDERZIJDSCHE
BEÏNVLOEDING VAN
NETVLIESELEMENTEN

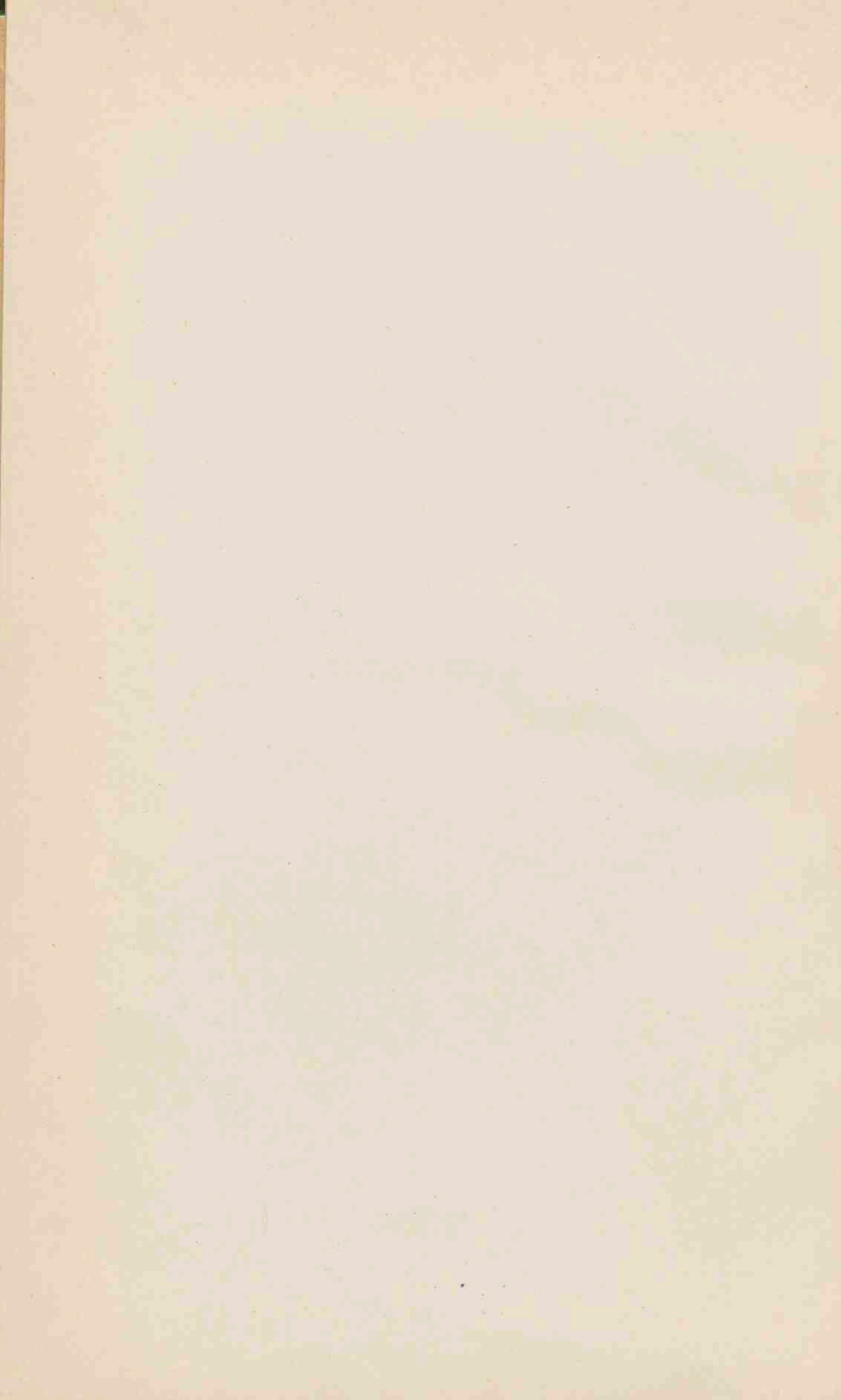
J. F. SCHOUTEN

BIBLIOTHEEK DER
RIJKSUNIVERSITEIT
UTRECHT.





VISUEELE METING VAN ADAPTATIE EN VAN
DE WEDERZIJDSCHE BEÏNVLOEDING
VAN NETVLIESELEMENTEN



Diss Utrecht 1937

VISUEELE METING VAN ADAPTATIE EN VAN
DE WEDERZIJDSCHE BEÏNVLOEDING
VAN NETVLIESELEMENTEN

PROEFSCHRIFT

TER VERKRIJGING VAN DEN GRAAD VAN
DOCTOR IN DE WIS- EN NATUURKUNDE
AAN DE RIJKS-UNIVERSITEIT TE UTRECHT
OP GEZAG VAN DEN RECTOR MAGNIFICUS
DR. W. E. RINGER, HOOGLEERAAR IN DE FACULTEIT
DER GENEESKUNDE, VOLGENS BESLUIT VAN DEN
SENAAT DER UNIVERSITEIT TEGEN DE BE-
DENKINGEN VAN DE FACULTEIT DER WIS- EN
NATUURKUNDE TE VERDEDIGEN
OP DINSDAG 29 JUNI 1937,
DES NAMIDDAGS TE 4 UUR,
DOOR

JAN FREDERIK SCHOUTEN

GEBOREN TE ROTTERDAM



UNIVERSITEITSBIBLIOTHEEK UTRECHT



3597 1591

1937

DRUKKERIJ Fa. SCHOTANUS & JENS — UTRECHT

BIBLIOTHEEK DER
RIJKSUNIVERSITEIT
UTRECHT.

THE HISTORY OF THE
CITY OF BOSTON
FROM 1630 TO 1800

By
JOHN B. HENNING

THE HISTORY OF THE CITY OF BOSTON FROM 1630 TO 1800. BY JOHN B. HENNING. BOSTON: PUBLISHED BY G. B. LITTLE AND BROTHERS, 1858.

THE HISTORY OF THE CITY OF BOSTON FROM 1630 TO 1800. BY JOHN B. HENNING. BOSTON: PUBLISHED BY G. B. LITTLE AND BROTHERS, 1858.

Aan mijn Ouders.

Aan mijn aanstaande Vrouw.

VOORWOORD

Der traditie getrouw moge het mij vergund zijn, bij den aanvang van mijn proefschrift, mij in de eerste plaats te wenden tot hen, die mijn studie- en studententijd gemaakt hebben tot wat deze voor mij geweest is.

In de eerste plaats gaat mijn dank wel uit naar mijn ouders, die mij zoo zeer tot alles in staat hebben gesteld en naar mijn aanstaande vrouw, die mij in lange jaren zoo onzelfzuchtig ter zijde stond.

U, Hoogleeraren, Oud-Hoogleeraren en Docenten dezer Universiteit, zeg ik dank voor het onderwijs, dat ik van U mocht genieten.

U, Hooggeleerde ORNSTEIN, Hooggeachte Promotor, ben ik in meer dan één opzicht dankbaar voor den tijd, waarin ik als student en later als assistent op Uw laboratorium mocht werkzaam zijn. Steeds heb ik mij gesterkt gevoeld door Uw inventieve leiding en door den dynamischen steun dien Gij immer weer bereid waart te geven. De wijze waarop Gij bij Uw leerlingen het goede weet aan te moedigen en het minder goede niet schijnt te achten, zal mij steeds tot voorbeeld strekken.

U, Hooggeleerde WEVE, dank ik voor de belangstelling, die Gij steeds hebt willen betoonen.

U, Zeergeleerde FISCHER, dank ik voor de moeite die U zich hebt willen getroosten, mijn eerste schreden op het gebied der physiologische optica te leiden.

I wish to thank you, DEANE B. JUDD, for having taken such kind interest in my previous investigations.

Ik dank je zeer, HAGEDOORN, voor de wijze waarop je je voor de contrôlewaarnemingen hebt willen leenen.

Het jaar, dat ik onder leiding van U, Hooggeachte KEPPEL HESSELINK, op de school voor Reserve-Officieren der Bereden

Artillerie mocht doorbrengen, is voor mij van groote beteekenis geweest.

Mocht ik reeds in mijn eerste studie jaren den weldadigen persoonlijk invloed van den omgang met anderen dan studiegenooten ondervinden, in latere jaren heeft dit mijn wetenschappelijke belangstelling zelfs een beslissende wending gegeven, die het mij nog meer als een voorrecht doet gevoelen, aan een Universiteit te hebben mogen studeeren.

In groote dankbaarheid denk ik terug aan den tijd, waarin ik lid mocht zijn van het Utrechtsch Studenten Corps. Dat hier, de wisselvalligheden van overtuiging in de buitenwereld trotseerende, in besloten gemeenschap de eigen waarden worden hoog gehouden en van generatie op generatie worden overgedragen, acht ik van niet te onderschatten beteekenis.

INLEIDING

Het oog speelt in het dagelijksch leven een rol als middel om de zichtbare werkelijkheid om ons en niet anders dan die werkelijkheid gewaar te worden. Als zoodanig speelt het die rol op een wijze, die voor den normalen toeschouwer als niet anders dan volmaakt mag gelden.

Het is slechts onder bijzondere omstandigheden, zooals die door speciaal gekozen proefopstellingen of door ook in het dagelijksch leven spontaan optredende abnormale omstandigheden van verlichting teweeg kunnen worden gebracht, dat wij bemerken, dat aan die volmaaktheid nog wel het een en ander en zelfs buitengewoon veel, ontbreekt.

Wij bemerken dan, hoe de helderheid en de kleur van een voorwerp schijnen te veranderen naarmate wij de helderheid en de kleur van den achtergrond varieeren. Wij bemerken, hoe wij, na langen tijd naar een vlak van bepaalde kleur gekeken te hebben, een vermoeidheid voor die kleur overhouden. Wij bemerken hoe een enkele lichtflits ons niet één gewaarwording doch een gansche reeks van lichtgewaarwordingen doet ondervinden. Wij bemerken tenslotte in dezen tijd van toenemend automobiëlverkeer bij avond, waar meer dan ooit het uiterste van ons gezichtsvermogen wordt geëischt, hoe zeer wij gehinderd, ja verblind worden door de schijnwerpers van onze tegenliggers.

Al deze verschijnselen: van simultaan contrast en successief contrast, van nabeelden en van verblinding, leeren ons hoezeer het geziene van de werkelijkheid kan afwijken, hoezeer dat zien feitelijk is het kijken naar een gebrekkige film, opgenomen en ontwikkeld door het oog en waargenomen door het bewustzijn.

Maar bezien wij de wereld verder. Dan bemerken wij hoe, wanneer wij na te hebben vertoefd in helder daglicht in een duister vertrek komen en aanvankelijk niets zien, de voorwerpen zich lang-

zamerhand beginnen af te teekenen en wij tenslotte naar behooren alles kunnen waarnemen. Dan bemerken wij hoe wij, weer teruggekomen in het heldere daglicht, de onaangename sensatie, die dit schelle licht teweegbrengt, spoedig verliezen en ook daar weer kunnen zien. Dan bemerken wij hoe wij bij gloeilamplicht, waarvan we weten dat het geel is, toch wit papier als wit zien en zwak daglicht nu als blauwachtig gewaarworden.

Het zijn deze verschijnselen van aanpassing aan lichthoeveelheid en kleur die ons leeren, dat het oog weliswaar is te beschouwen als een ondeugdelijk physisch lichtmetend instrument, maar hoezeer het juist daardoor in staat wordt gesteld te beantwoorden aan zijn uiteindelijke doel: het gewaarworden, herkennen en beoordeelen van de objecten die dat licht uitstralen.

Moge de film waarmede ik het zien zoeven vergeleek, dus gebrekkig zijn, zij is dan toch nog altijd zóó goed, dat van de meest uiteenlopende negatieven, hetzij onder-, hetzij overbelicht, een waarheidsgetrouw positief wordt gemaakt.

Juist het feit, dat het oog onder alle omstandigheden van verlichting als het ware tracht steeds eenzelfde gezichtsgewaarwording te geven en daardoor een natuurgetrouw reproduceerend instrument lijkt, bewijst hoezeer het een naar licht- en naar kleurzin voortdurend veranderlijk, adapteerend orgaan is.

Geen methode om dit aan te toonen is zoo fraai en sprekend als het afzonderlijk kijken met de beide oogen. Brengt men deze op een of andere wijze in verschillende omstandigheden van verlichting, dan bemerkt men hoe verbazingwekkend verschillend eenzelfde voorwerp, zoowel naar de helderheid als naar de kleur, door de beide oogen kan worden gezien. Dan ziet men verschillen, veel grooter dan men, met ieder der oogen afzonderlijk kijkende, zich ooit zou kunnen realiseeren.

Het is mijn bedoeling in dit proefschrift deze veranderingen, voor zoover zij zich in het gebied van het dagzien afspelen, aan een nader onderzoek te onderwerpen en te bestudeeren, in hoeverre een quantitative meting dezer verschijnselen, waar mogelijk gesteund door een mathematische beschrijving der resultaten, een nader inzicht in deze zoo merkwaardige wisselvalligheden van het zien kan verschaffen.

HOOFDSTUK I

DE WERKING VAN LICHT OP HET OOG

§ 1. Zien als kettingreactie.

Bedenken wij, dat de gezichtsgewaarwording afhangt van de omstandigheden waarin het oog zich te voren bevond en van den aard der lichtbronnen, die zich op het moment van kijken in het gezichtsveld bevinden, dan dienen wij ons af te vragen hoe deze beïnvloeding in principe tot stand zou kunnen komen.

Het zien is te beschouwen als een kettingreactie, welke zich afspeelt vanaf het fysisch begin van afbeelding en lichtabsorptie via de fysiologische voortgeleiding tot aan de uiteindelijke psychologische gewaarwording. Het feit dat de studie van het zien dus niet op zich zelf staat, doch veelmeer gelegen is aan den zelfkant van drie wetenschappen: de physica, de fysiologie en de psychologie, heeft in den loop der tijden reeds menigmaal aanleiding gegeven tot misverstanden al naarmate deze studie door beoefenaren van één dier wetenschappen werd opgevat. Ik wil daarom dan ook uitdrukkelijk verklaren, dat, wanneer ik bij het zoeken naar mogelijke oorzaken van verblinding de fysische oorzaken vooropstel, om eerst na elimineeren daarvan de fysiologische of psychologische fasen der lichtgewaarwording nader te beschouwen, dit niet geschiedt omdat ik aan die eerste oorzaken een domineerende betekenis toeken, doch slechts omdat mij dit voor een physicus de beste methode toeschijnt om dit zoo gecompliceerde proces van zijn kant te behandelen.

§ 2. Mogelijke vormen van verblinding.

Bepalen we ons tot het foveale zien. De wijze nu waarop in

principe de fovea ¹⁾ gestoord kan worden, doordat zich elders in het gezichtsveld een storende lichtbron bevindt, zijn, zooals ik in hoofdzak reeds vroeger uiteenzette, de volgende (Fig. 1):

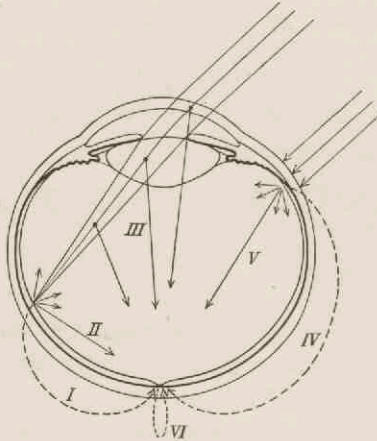


Fig. 1. Schematische voorstelling van de verschillende mogelijkheden van verblindings.

- I. *Verandering van de gevoeligheid van de fovea door het met de verblindingslichtbron corresponderende deel van het netvlies.*
- II. *Herbelichting van den fundus ²⁾ door het beeld van de verblindingslichtbron.*

Deze herbelichting kan men entoptisch waarnemen door in het donkere gezichtsveld een puntlampje te bewegen. Het gezichtsveld licht dan roodbruin op, terwijl de PURKINJE'sche vaatfiguur zich, als bewegende schaduw van de voor het netvlies gelegen bloedvaten, donker afteekent.

III. *Verstrooiing en buiging.*

Verstrooiing kan optreden in de cornea ³⁾, de lens en het glasvocht. Vooral door het werk van HOLLADAY, die hiervoor de hoek-

¹⁾ fovea = centrale deel van het netvlies.

²⁾ fundus = binnenwand van het oog.

³⁾ cornea = hoornvlies.

afhankelijkheid berekende, wordt deze, en zooals ik later hoop aan te toonen ten onrechte, dikwijls beschouwd als hoofdoorzaak van de hoekafhankelijke schijnwerperverblindings.

Buiging kan optreden (SALOMONSON) in de cornea en in de lens, de gekleurde buigingsringen, die tot op een hoek van 4° met de lichtbron te bemerken zijn, ziet men zeer duidelijk rondom puntvormige lichtbronnen op donkeren achtergrond.

IV. *Verandering van de gevoeligheid van de fovea door diasclerale belichting.*

Wordt het onder de belichte sclera ¹⁾ gelegen periphere deel van het netvlies door licht getroffen, dan bestaat de mogelijkheid dat van hieruit een invloed op de gevoeligheid van de fovea wordt uitgeoefend.

V. *Herbelichting van den fundus door diasclerale herbelichting.*

Het door den oogwand tredende licht veroorzaakt een diffuse belichting van het geheele oog, waarin zich, indien een fijn lichtpuntje over de sclera bewogen wordt, de PURKINJE'sche vaatfiguur op geelrooden achtergrond afteekent.

VI. *Verandering van de gevoeligheid van de fovea door het daarop vallende licht (II, III en V).*

VII, VIII, IX. *Overige effecten.*

Men moet nog rekening houden met drie effecten, te weten de reflectie aan 2 grenzen der brekende media, de reflectie aan de iris en de cornea en de lichtdoorlaatbaarheid van de iris. Deze verschijnselen kunnen hier echter buiten beschouwing blijven, daar zij slechts een geringen invloed uitoefenen.

De mogelijkheden van verblindings I tot VI zijn nu wat hun uitwerking betreft in twee principieel verschillende groepen te scheiden. De eerste groep (I en IV en VI) bestaat in een verandering van de gevoeligheid van de fovea, de tweede daarentegen (II, III en V) in het aanbrengen van een lichtsluier.

De eerste zal zich uiten als een verminderde lichtgewaarwording

¹⁾ Sclera = harde oogrok.

door een verminderde ooggevoeligheid, de tweede (althans in eerste instantie) als een vermeerderde lichtgewaarwording door een verhoogde verlichtingssterkte van de fovea.

Vergelijkt men het oog, wat immer zinvol is, met een photographietoestel, dan komt de eerste groep overeen met een verminderde plaatgevoeligheid, de tweede met een sluiervorming door valsch licht.

§ 3. Mogelijk mechanisme van verblindings.

Wanneer nu de gevoeligheid van de fovea zich wijzigt, dan zal dit in de eerste plaats geschieden onder invloed van het er opvallende licht en in de tweede plaats kunnen geschieden onder invloed van de overige belichte of onbelichte deelen van het netvlies.

Hoe moeten wij ons deze voortdurende verandering in de ooggevoeligheid denken? In de eerste plaats komt daarvoor in aanmerking de dupliciteitstheorie, welke het netvlies in een schemerorgaan en een dagorgaan scheidt en welke haar anatomischen grondslag in den opbouw van het netvlies uit staafjes en kegeltjes vindt. De staafjes, uitermate gevoelig door het gezichtspurpur of rhodopsine, verliezen bij sterkere verlichting hun gevoeligheid doordat deze sensibilisator door het licht wordt omgezet en krijgen deze terug wanneer in het donker het rhodopsine weer wordt teruggevormd.

Is men zodoende wat den schemerzin, ook wat zijn veranderlijkheid betreft, gekomen tot een anatomisch en photochemisch vrij goed gegroundveste beschrijving, anders staat het met den dagzin, welke in de kegeltjes gezeteld is. Weliswaar heeft de studie van den kleurzin ons geleerd, dat drie photogevoelige stoffen noodig en voldoende zijn om dit kleurenzien te kunnen beschrijven, maar met betrekking tot den aard dezer stoffen, en zelfs ten aanzien van de vraag of men hier wel van stoffen mag spreken, tast men nog in het duister.

De studie van den kleurzin, tot dusver de wijze waarop nog het meest over het functionneeren der kegeltjes viel uit te maken, heeft echter geleerd, dat alle veranderingen in de gevoeligheid, juist ook wat de specifieke vermoeienis voor bepaalde kleuren betreft, te *beschrijven* zijn als een vermindering in verschillende mate dezer hypothetische photogevoelige stoffen. Heeft men namelijk van twee vlakjes, waarbij het eene verlicht wordt met b.v. spectraalgeel en

het andere met een mengsel van spectraalrood en spectraalgroen, de verlichting zoo ingesteld, dat de beide vlakjes naar kleur en helderheid gelijk zijn, dan is dit alleen mogelijk wanneer de bijdrage van ieder der elementaire gevoeligheden voor beide vlakjes gelijk is. Het blijkt nu, hetgeen men uitgedrukt vindt in de wet van VON KRIES, dat wanneer na de instelling het oog vermoeid wordt met een willekeurige kleur, na afloop daarvan de beide vlakjes weliswaar een geheel andere kleur en helderheid vertoonen, maar onderling volkomen gelijk gebleven zijn. Dit beteekent dus, dat de verandering te beschrijven is als een verandering in verschillende mate dezer drie elementaire stoffen bij overigens gelijkblijvend absorptie spectrum.

Tracht men nu echter, aan de hand van dit schema, een verklaring te geven van de gecompliceerdheid der positieve nabeelden, van de contrastverschijnselen (ook voor zoover men dezulke welke gevoelig psychologisch te verklaren zouden zijn uitschakelt) en van de veranderlijke samengesteldheid der actiestroomen van het oog (GRANIT e.a.), dan blijkt spoedig hoe weinig men daarmee vooruitkomt.

Men mag dus bij de studie der verblindingsverschijnselen reeds a priori verwachten, dat het totstandkomen van de gezichtsgewaarwording een veel gecompliceerder verschijnsel is, dan men zou meenen te mogen afleiden uit het simpele beeld van twee soorten lichtgevoelige elementen, voorzien van een zeker aantal lichtgevoelige stoffen, die door omzetting respectievelijk regeneratie de gevoeligheid dezer elementen veranderlijk zouden kunnen bepalen.

§ 4. De binoculaire compensatiemethode.

De veranderingen, welke in de gezichtsgewaarwording optreden zijn den laatsten tijd in hoofdzaak gemeten met behulp van drempelwaardemethoden, waarbij dus bepaald werd hoe de drempelwaarde van het juist onderscheidbare (op welke wijze dan ook gedefinieerd) verhoogd werd onder invloed van de verblindings.

Het moge zijn, dat zulke metingen voor de praktijk direct verwerkbare resultaten opleveren, voor het begrip van de zich daarbij afspelende verschijnselen helpen zij ons echter nauwelijks verder. Het is daarbij namelijk niet uit te maken in hoeverre deze verhoogde drempelwaarde veroorzaakt wordt door de physische oorzaak van een lichtsluier, gelijk een sluier bij de photographische plaat, of door

de physiologische oorzaak van een gevoeligheidsvermindering gelijk een verminderde plaatgevoeligheid.

Een stap vooruit, hiermede vergeleken, is de methode, die vooral aanvankelijk bij de studie der negatieve nabeelden werd gebruikt en waarover men bij WIRTH naast een uitgebreid onderzoek een goede literatuuropgave vindt. Hierbij wordt de nawerkende gevoeligheidsvermindering van een beperkte lichtbron gemeten door naar een homogeen verlicht vlak te kijken. Het negatieve nabeeld (waaronder ik dus met HAMAKER slechts die nawerking wil verstaan, welke als een gevoeligheidsvermindering is te beschouwen) teekent zich als een donkere vlek af. Men kan nu door ter plaatse de verlichtingssterkte op te voeren deze vlek tot verdwijnen brengen.

Nog fraaier echter is de methode, zooals die door WRIGHT beschreven is, waarbij de belangrijke verschillen die in helderheids- en kleurzin tusschen de beide oogen optreden tot voorwerp van experimenteele studie gemaakt worden. WRIGHT liet, na een periode van donkeradaptatie van 30 minuten, het rechter oog gedurende eenige minuten naar een groot helder verlicht vlak kijken, waarna aan beide oogen twee vlakjes boven elkaar vertoond werden, doch zoo, dat ieder der oogen slechts één der vlakjes waar kon nemen. Het bleek nu dat het verblinde oog het daarbij behoorende vlakje aanmerkelijk donkerder zag. De proefpersoon kon nu de beide vlakjes zoowel naar de helderheid als naar de kleur gelijk maken, aangezien het vergelijkvlakje in wezen niets anders was dan het prisma van een trichromatischen colorimeter. Op deze wijze kan dus een volmaakte ijking van het verblinde oog verkregen worden als functie van den tijd na afloop der verblindings.

Het feit dat zulke groote verschillen tusschen de beide oogen optreden en dat de veranderingen in het onbelichte oog daarbij vergeleken zeer klein zijn, bewijst, dat men hier te maken heeft met processen welke zich afspelen in die fasen van het gezichtsproces welke vóór de vereeniging der beide gezichtsvelden plaats vinden.

Op zichzelf beschouwd kan men iedere verandering, zoowel die van de drempelwaarden, als van de verschillende deelen van het gezichtsveld, als van de beide oogen ten opzichte van elkaar, met evenveel recht bestudeeren. Wanneer echter de veranderingen in het onbelichte oog zoo klein zijn als WRIGHT ze aanneemt te zijn,

wat ik overigens later zal bevestigen, dan heeft deze binoculaire compensatiemethode dit principieele voordeel dat het ééne belichte, willekeurig veranderde oog, in termen van het andere, onbelichte, onveranderde standaardoog geijkt wordt. En daarmee wordt een quantitatief onderzoek der optredende verschijnselen, ook wat hun diepere beteekenis betreft, mogelijk.

Men kan zich nu afvragen welke veranderingen de belichte en welke veranderingen de onbelichte deelen van het netvlies ondergaan, hetgeen men dus in navolging van WEICEL kan noemen de directe en de indirecte verblinding. Ik zal in den vervolge deze omschrijvingen dan ook steeds in dien zin gebruiken. WRIGHT mat de directe verblinding en kon daarvan niets anders meten dan het herstel na afloop der belichting. Ten hoogste kon hij de krommen die het herstel kenschetsen naar het eind der verblinding extrapoleren.

Ik heb mij nu meer algemeen de vraag gesteld: Wat is de verandering die de gezichtsgewaarwording van de fovea ondergaat onder invloed van een lichtbron welke zich elders in het gezichtsveld bevindt? Dit is dus de indirecte verblinding, die nu in principe gemeten kan worden als functie van den tijd tijdens de verblinding en na afloop daarvan, als functie van de intensiteit en de kleur van de verblindingslichtbron en van de meetvlakjes en als functie van de plaats welke de verblindingslichtbron ten opzichte van de meetvlakjes inneemt.

Bovendien kan men nog, bij gelijk blijvende constellatie van verblindingslichtbron en meetvlakjes, verschillende punten in het uitwendig gezichtsveld fixeeren, waardoor dus beïnvloeding van andere deelen dan de fovea bepaald wordt. Waar echter het instellen op gelijke helderheid reeds op eenige graden buiten de fovea aanmerkelijk veel moeilijker wordt en bovendien de fovea bij het zien de belangrijkste rol speelt, heb ik mij in hoofdzaak tot een fixeeren der meetvlakjes, en dus tot het meten van den invloed die op het foveale zien wordt uitgeoefend, bepaald.

HOOFDSTUK II

VOORBEREIDENDE METINGEN

§ 5. Apparatuur.

De apparatuur werd op zoodanige wijze ingericht, dat alle instellingen en aflezingen door den proefpersoon, zijnde mijzelf ¹⁾, konden worden verricht. Daaraan kleeft het nadeel, dat daarmede een zekere objectiviteit van waarnemen teloor schijnt te gaan. Aan den anderen kant echter was het bij dit onderzoek in de eerste plaats noodzakelijk de zich voordoende verschijnselen op te merken en naar waarde te schatten, eerst daarna kon tot het ontwikkelen van een geschikte meetmethode worden overgegaan. En zelfs dan was het nog voortdurend noodzakelijk, een open oog te houden voor aanvankelijk als storing optredende subjectieve verschijnselen, welke bij nader onderzoek dikwijls een belangrijke en essentieele rol bleken te spelen. Als physicus heeft men de neiging te streven naar de uiterste objectiveering der meetmethode, maar juist bij deze verschijnselen is het absoluut noodzakelijk toch voortdurend te blijven letten op de meer subjectieve, dikwijls schijnbaar psychologische, nevenomstandigheden.

Op 80 cm van den waarnemer bevonden zich naast elkaar loodrecht opgesteld twee stukjes papier, in grootte varieerende tusschen 1×1 en 5×10 cm. Ik zal deze vlakjes gezamenlijk betitelen als *meetvlakjes* en daarbij onder *proefvlakje* verstaan het vlakje dat het verblinde oog, onder *vergelijkvlakje* het vlakje dat het onverblinde oog ziet.

De zwarte scheidingswanden M_1 en M_2 (Fig. 2) in het lood-

¹⁾ J. G. HAGEDOORN was zoo vriendelijk voor de voornaamste der waargenomen verschijnselen controlewaarnemingen te verrichten.

rechte vlak door den neus van den waarnemer en de scheidingslijn der vlakjes bewerkstelligen dat het linker oog slechts het linker-, het rechteroog slechts het rechtervlakje waar kan nemen.

Het linkervlakje, V, vrijwel steeds vergelijkvlakje, werd constant verlicht met een verlichtingssterkte van 24 lux door de lamp A, het rechtervlakje P, vrijwel steeds proefvlakje, werd, door middel van door den waarnemer uit te voeren en af te lezen afstandsvariatie, regelbaar verlicht met behulp van de lamp B op rail R_1 .

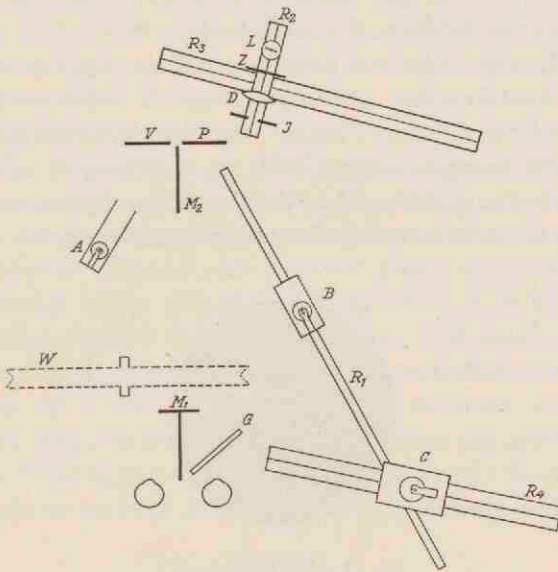


Fig. 2. Schematische voorstelling van de apparatuur.

Ter rechter zijde van het proefvlakje P was op een afstand van 1 meter van den proefpersoon op gelijke hoogte met de meetvlakjes de verblindingslamp L opgesteld. Deze was een projectielampje, bedreven met 10 Volt, 11 Ampère, dat met behulp van de lens D een verlichtingssterkte tot maximaal 200 lux op het rechter oog van den waarnemer kon bewerkstelligen.

Op dezelfde rail R_2 waarop de lamp L en de lens D waren

gemonteerd, waren ook een regelbare verzwakker Z en een photographische sluiters I aangebracht. Deze rail was in haar geheel over een tweede rail R_3 zijwaarts verschuifbaar tot een hoek van 25° , op zoodanige wijze, dat de lichtbundel steeds op het rechter oog van den waarnemer gericht bleef. De sluiters I was op afstand te bedienen door den waarnemer.

Van de wanden M_1 en M_2 welke dienst deden voor de scheiding der gezichtsvelden, verhinderde de wand M_1 tevens de belichting van het linker oog door de verblindingslichtbron, terwijl de wand M_2 een belichting van het vlakje V door de lichtbron B en van het vlakje P door de lichtbron A verhinderde.

De rail R_1 was onder een hoek van 20° met het horizontale vlak opgesteld, waardoor een afschermen van de lichtbron L door de lamp B werd voorkomen. Tevens werd het hierdoor mogelijk een rail R_4 aan te brengen waarop zich een lichtbron C op ooghoogte bevond, die het mogelijk maakte, door tusschenplaatsen van een stuk vensterglas G , directe verblinding teweeg te brengen.

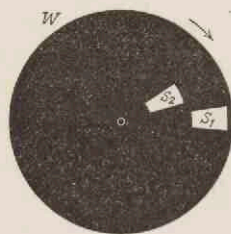


Fig. 3. Het spletenwiel.

Bij latere proeven werd het noodzakelijk de verblindingslichtbron en de meetvlakjes gedurende korte tijden, na elkaar te doen opflitsen. Hiertoe werd in den lichtweg een draaiende schijf W aangebracht (Fig. 3). Hiervoor deed een fietswiel dienst, dat, aangedreven over de velg door een 10 Volts gelijkstroommotortje, één omwenteling per seconde maakte. Door de spleet S_1 werd de verblindingslichtbron zichtbaar, terwijl door S_2 de meetvlakjes zichtbaar werden. De beide spleten waren regelbaar zoowel wat de spleetbreedte als wat den onderlingen afstand betrof.

De sluiters I werd door middel van een koord bediend met de

linkerhand, de regelbare lamp B werd verplaatst door de rechterhand, terwijl de directe verblindingslichtbron met behulp van een pedaal door den rechtervoet was in- en uit te schakelen.

§ 6. Het meten.

Bij de monoculaire photometrie heeft men reeds te maken met het bekende verschijnsel, dat de nauwkeurigheid van de instelling in hooge mate afhankelijk is van den aard der vlakjes en wel in dien zin, dat de beste instellingen verkregen worden, wanneer de scheidingslijn volkomen tot verdwijnen is te brengen.

Bij deze binoculaire photometrie komen deze moeilijkheden in aanmerkelijk sterkere mate naar voren, te meer omdat men hier met een ongewone wijze van zien te maken heeft. Neemt men twee vlakjes van gelijken vorm naast elkaar, dan hebben de beide oogen de natuurlijke neiging deze tot dekking te brengen. Doch ook wanneer de vorm niet dezelfde is treedt aanvankelijk een soort dwalen zoowel van de convergentie als van de accommodatie op. Het compenseeren hiervan is danook een werk dat groote aandacht vergt. Na eenige oefening echter geschiedt dit geheel onbewust, zoodat ik ten slotte zonder moeite de vlakjes mooi aaneensluitende zag. Moge het derhalve voor ongeoeffende waarnemers geschikter zijn de vlakjes onder elkaar op te stellen zooals WRIGHT dit deed, waardoor de convergentie geen storende rol kan spelen, voor een geoeffend waarnemer biedt dit geen voordeelen, zoodat ik de naast elkaar geplaatste vlakjes, mede in verband met de verdere opstelling, verkoos.

TABEL I.

Fouten in de instelling bij verschillende afstanden van de belichtingslamp B.

Gemiddelde afstand in cm	Gemiddelde afwijking in cm	Verlichtingssterkte in lux	Gem. afwijking in % der verlichtingssterkte
21.9	0.6	320	7 %
35.1	0.8	124	5 %
43.5	1.0	81	5 %
54.0	1.0	53	3 %
68.4	1.2	33	4 %
92.0	2.3	18	6 %

Ook de instelfout wordt na eenige oefening zeer bevredigend

laag. In de tabel I vindt men voor verschillende afstanden van de belichtingslamp B de grootte dezer fouten opgegeven, waaruit wij dus veilig mogen concludeeren dat de nauwkeurigheid van één enkele waarneming op 7 % te stellen is. Waar nu alle metingen tenminste in drievoud en meestal in viervoud werden uitgevoerd mogen wij dus aan deze uitkomsten een nauwkeurigheid van 5 % toekennen. Waarnemingen op verschillende tijden gedaan, leverden grootere verschillen op. Dit echter is, den physiologischen oorsprong der verschijnselen in aanmerking genomen, niet te verwonderen.

De waarnemer werd vóór den aanvang der waarnemingen niet donker geadapteerd. Het waarnemingsmateriaal omvat circa 14000 afzonderlijke instellingen.

§ 7. Overzicht van de optredende verschijnselen.

Bij de eerste proeven bevond zich de verblindingslichtbron eenige graden rechts van het proefvlakje. Als meetvlakjes fungeerden 2 halfcirkelvormige stukjes wit papier met een doorsnede van $2,9^\circ$ (Fig. 4).

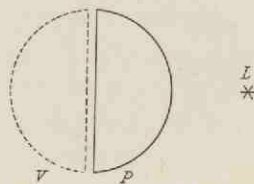


Fig. 4. Normale opstelling der meetvlakjes.
Proefvlakje rechts van het vergelijkvlakje.

Worden de vlakjes op gelijke helderheid ingesteld en wordt daarna de verblindingslichtbron ontstoken, dan is plotseling, zoo snel dat men het verloop zelve niet kan waarnemen, de helderheid van het proefvlakje gedaald (Fig. 5). De verlichtingssterkte benodigd om het proefvlakje weer op gelijke helderheid te brengen is daarbij tot een factor 20 hooger dan aanvankelijk.

De waarnemer ziet de verblindingslichtbron duidelijk omgeven door den lichthof die door buiging en verstrooiing in de oogmedia ontstaat, maar ook bij verblindingshoeken van circa 4 graden, waarbij

de buigingsring duidelijk over het proefvlakje loopt, ziet hij dit laatste toch donkerder dan het vergelijkvlakje V.

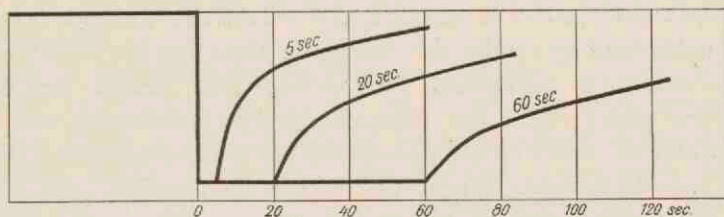


Fig. 5. Schematische voorstelling van het verloop van de helderheid gedurende en na afloop der indirecte verblinding.

Dit verschijnsel is zeer belangrijk. Het bewijst namelijk, dat hier, naast de verhelderende werking van het lichtwaas, een tweede en veel sterkere invloed werkzaam is, die zich in een sterke gevoeligheidsvermindering uit. Dat het hier niet een psychologisch gestoord zijn betreft van het vlakje, dat zich het meest nabij de sterke lichtbron bevindt, kan men aantoonen door het scherm M_1 zoodanig te construeeren dat het rechter oog slechts het linker en het linker oog slechts het rechter vlakje ziet (Fig. 6). Nu ziet men bij ontsteken van L het linkervlakje duidelijk donkerder, terwijl het rechter vlakje dezelfde helderheid behoudt.

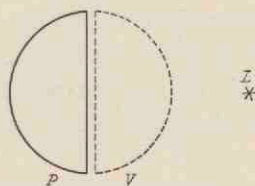


Fig. 6. Bijzondere opstelling der meetvlakjes.
Proefvlakje links van het vergelijkvlakje.

Het betreft dus hier een invloed, welke door belichting van één der oogen op de gevoeligheid van slechts dat oog wordt uitgeoefend.

Wordt nu, na korten tijd, de belichting van het rechter oog gestaakt, dan springt als het ware de helderheid van het proefvlakje weer omhoog. Naarmate echter de belichting langer geduurd

heeft, tot eenige minuten toe, wordt deze sprong steeds minder merkbaar (Fig. 5), de gevoeligheid herstelt zich steeds langzamer om tenslotte circa 4 minuten in beslag te nemen.

Wordt met rood licht verblind, dan treedt aanvankelijk een val in de helderheid op zonder dat daarbij de kleur van het witte proefvlakje merkbaar verandert. Na verloop van eenige tientallen seconden echter treedt een frappante groene verkleuring van het proefvlakje op, welke na eenige minuten een zeer verzadigde stationnaire waarde bereikt. Wordt de verblindings gestaakt, dan duurt deze verkleuring eenigen tijd voort, zij is echter steeds al weer onmerkbaar gering geworden voordat de totale gevoeligheid tot het oude niveau is teruggekeerd.

Het merkwaardigste bij deze gevoeligheidsverandering is wel, dat de helderheid van het proefvlakje na den eersten val gedurende den heelen duur van de belichting practisch constant blijft.

Men kan in de beschreven verschijnselen twee processen onderscheiden. Het eerste is dat van een plotselinge gevoeligheidsvermindering, zonder merkbare kleurverandering en een plotseling herstel na afloop van korte belichtingen.

Dit proces wil ik, teneinde niet op eenige theoretische verklaring vooruit te loopen met den naam α -a d a p t a t i e betitelen. Het tweede is een zeer langzaam proces, dat eerst na eenige minuten tot een stationnaire waarde komt en dat zich in een steeds langzamer wordend herstel na afloop der belichting en in een geleidelijk toenemende verkleuring tijdens de verblindings met gekleurd licht uit.

Dit proces wil ik met den naam β -a d a p t a t i e betitelen. De α -adaptatie stelt zich dus in en herstelt zich binnen een tijd van een seconde, de β -adaptatie doet dat eerst na een tijd van eenige minuten.

De β -adaptatie is dus feitelijk niets anders dan wat we reeds kennen als de vorming van het negatieve nabeeld, met dien verstande, dat de nabeeldmetingen zoowel als de metingen van WRIGHT betrekking hebben op directe verblindings, terwijl het hier indirecte verblindings betreft.

De α -adaptatie is minder gemakkelijk in verband te brengen met reeds bekende verschijnselen. De eerste vraag die zich echter wel voordoet is, in hoeverre deze niet een volkomen kunstproduct is veroorzaakt door de pupilbeweging.

§ 8. Invloed van de pupilbeweging.

Wij weten, dat wanneer licht op het oog valt de pupil zich in den loop van de eerste seconde vernauwt en na afloop weer vrij snel verwijdt.

Gesteld nu, dat door de belichting slechts de pupil van het belichte oog en niet die van het onbelichte oog werd vernauwd, dan zou dit ten gevolge hebben, dat het proefvlakje in evenredigheid daarmee donkerder dan het vergelijkvlakje gezien werd. Het is bekend dat de pupil van het onbelichte oog meebeweegt, maar dat dit niet voor alle individuen in gelijke mate geschiedt. Ik was dus genoodzaakt dit voor mij zelf te controleeren.

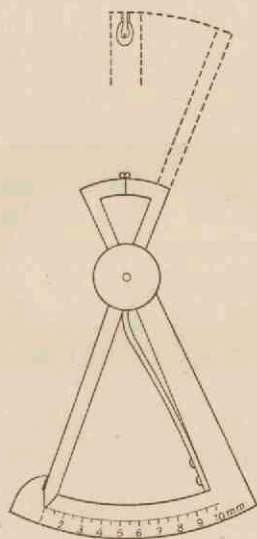


Fig. 7. De pupilpasser.

Teneinde dit na te gaan, moest een methode van pupilmeting ontwikkeld worden, welke geen storing in het gezichtsveld teweeg brengt en dus de beide oogen zooveel mogelijk vrijlaat. Daartoe maakte ik gebruik van een pupillometer, welke ik indertijd voor een verblindingsonderzoek construeerde. Op de bekken van een tienden-millimeterpasser (Fig. 7) werden twee zilverbolletjes met een diameter van 1 mm zoodanig aangebracht, dat wanneer de

bekken elkaar raakten dit ook voor de bolletjes het geval was. Hun middelpunten zijn dan dus juist 1 mm. van elkaar verwijderd.

Wordt de passer met de bolletjes voor een der oogen gehouden en worden deze door een daarboven aangebracht lampje belicht, dan ziet men twee cirkelvormige gebieden die elkaar ten deele bedekken (Fig. 8). Deze zijn de onscherpe afbeeldingen van de door de bolletjes ontworpen virtueele, eenige μ groote, beelden van de gloeispiraal en zijn dus projecties van de pupil op het netvlies. Door indrukken van den passer kunnen de gebieden ten opzichte van elkaar verschoven worden tot dat zij elkaar juist raken. Is het oog op oneindig ingesteld, dan zal dit het geval zijn, wanneer de middelpunten der bolletjes zich op een afstand bevinden gelijk aan den diameter van de pupil. De verlichtingssterkte der bolletjes kon zoo worden ingesteld, dat de gebieden op de grens van het zichtbare waren en zelf geen invloed op de pupilgrootte uitoefenden.

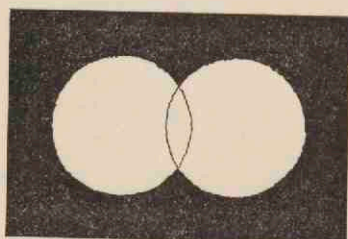


Fig. 8. Het gezichtsveld van den pupilpasser.

Voor het beoogde doel: het zelf volgen en meten van de pupilgrootte in duistere omgeving bij vrijlating van het grootste deel van het gezichtsveld, voldoet deze pupillometer goed. Het gebruik der zilverbolletjes heeft het voordeel, dat men, getuige de karteling in den pupilrand en de marmering in het verlichte deel, een zeer scherpe projectie van de pupil op het netvlies verkrijgt.

Werd één oog belicht, dan trad, na een korte latente periode, voor beide oogen een snelle daling in tot een minimum, waarna de pupilgrootte tot een iets hoogere en vrijwel stationnaire waarde steeg. Na afloop der belichting trad een geleidelijke stijging in.

Allereerst mat ik nu de bereikte stationnaire waarde voor het

verblinde en het onverblinde oog, uitgedrukt in het relatieve pupiloppervlak (Tabel II).

TABEL II.

Stationnaire pupilgrootte voor het verblinde en het onverblinde oog, uitgedrukt in het relatieve pupiloppervlak σ .

	I	II	III	IV	Gem.	Gem.afw.
Linkeroog (verblind) . . .	—	—	0.49	0.60	0.55	0.06
Rechteroog (onverblind) .	0.58	0.49	0.49	—	0.52	0.04

De stationnaire pupilgrootte is dus voor beide oogen binnen de waarnemingsfouten gelijk.

In de tweede plaats mat ik voor beide oogen de diepte van het bereikte minimum. De verandering van de grootte van de pupil verloopt zoo snel, dat een volgen van den pupillometer niet uitvoerbaar is. Nadat ik echter had geconstateerd, dat de bereikte minimale doorsnede circa 2.9 mm was, werd de pupillometer achtereenvolgens op de vaste standen 2.8, 2.9 en 3.0 mm. gehouden. De mate waarin nu de minimale pupilgrootte bij de betreffende standen te groot of te klein was werd gewaardeerd met willekeurige punten tusschen + 3 en — 3. Het bleek, dat wanneer voor 1 punt 0.05 mm. werd gekozen en de zoo verkregen correcties bij de waarden 2.8, 2.9 en 3.0 mm. werden opgeteld geen systematisch verloop in de aldus berekende diameters optrad (Tabel III). Op zulk een wijze is dus toch een nauwkeurige meting van dit snel verlopende verschijnsel mogelijk. Ook de minimale pupilgrootte is dus voor beide oogen gelijk.

TABEL III.

Minimale pupilgrootte voor het verblinde en het onverblinde oog. Uitgedrukt in den diameter.

Bepaald bij vasten stand	2.8 mm	2.9 mm	3.0 mm	Gemiddeld:	σ
Linker oog (verblind) .	2.85	2.95	2.88	2.89 \pm 0.04 mm	0.41
Rechter oog (onverblind)	2.85	2.90	2.83	2.86 \pm 0.03 mm	0.40

Het zou nu nog mogelijk kunnen zijn, dat de minimale pupilgrootte voor de beide oogen na verschillenden tijd bereikt werd. Daartoe

mat ik dezen tijd met behulp van een in honderdste seconden afleesbaar stophorloge (Tabel IV). De tijd waarin de minimale pupilgrootte bereikt wordt is dus voor beide oogen dezelfde.

TABEL IV.

Tijd waarin de minimale pupilgrootte bereikt wordt voor het belichte en voor het onbelichte oog. Tijd in seconden.

Rechter oog verblind	I	II	III	IV	Gemidd.	Gem. afw.
Rechter oog	0.89	0.99	0.92	0.92	0.93	0.03
Linker oog	0.92	0.93	0.97	0.90	0.94	0.03
Linker oog verblind.	V	VI	VII	VIII		
Linker oog	0.98	1.07	0.97	1.01	1.01	0.03
Rechter oog	1.01	1.01	1.01	1.02	1.01	0.005

Tenslotte restte nog het meten van het herstel van de pupilgrootte. Dit geschiedt zoo langzaam (Fig. 9) dat het mogelijk was

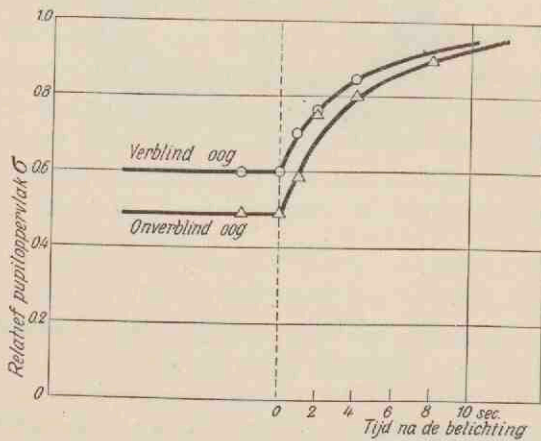


Fig. 9. Het herstel van de pupilgrootte na afloop der belichting.

dit te volgen door metingen op 1, 2, 4 en 8 seconden na afloop van de belichting. Men ziet uit de figuur, dat het herstel zonder

sprong plaats vindt en voor beide oogen op gelijke wijze met een halfwaarde-tijd van 3 seconden verloopt. Het verschil in stationnaire waarde is hier, daar de beide oogen eenigen tijd na elkaar gemeten zijn, van geen beteekenis.

De fraaiste wijze om de gelijkheid van de beweging der beide pupillen aan te toonen, is die van het binoculair vergelijken. Daartoe plaatste ik voor ieder der oogen een belicht staalkogeltje op zoodanige wijze dat de beide lichtcirkels naast elkaar gezien werden. De bewegingen der beide pupillen ziet men zoo naast elkander plaats grijpen, waarbij voor mijn oogen geen verschil in de beweging viel waar te nemen.

In het volgende schema heb ik, daarbij vooruitlopende op de resultaten van § 9, de verschillen tusschen α -adaptatie en pupilbeweging samengevat.

A. Bij den aanvang der belichting.

1. De α -adaptatie bereikt een stationnaire waarde binnen een seconde, het pupiloppervlak eerst na een seconde.
2. Voor de α -adaptatie is geen overperiodiciteit geconstateerd, voor de verandering van het pupiloppervlak wel.
3. Het bewegen der pupillen is binnen de waarnemingsmogelijkheden naar snelheid en maat gelijk.
4. α -adaptatie bestaat ook bij diasclerale verblindings.

B. Tijdens de belichting.

5. Er is geen aantoonbaar verschil tusschen de beide pupillen.

C. Na afloop der belichting.

6. De α -adaptatie springt terug na korte belichtingstijden, het pupiloppervlak stijgt langzaam.
7. Het pupiloppervlak verloopt voor beide oogen met dezelfde snelheid.
8. De α -adaptatie springt ook terug bij diasclerale verblindings.

Hieruit mogen wij dus de conclusie trekken, dat het snel verlopende verschijnsel van helderheidsvermindering respectievelijk -vermeerdering niets heeft uit te staan met de — slechts — oppervlakkig daarop gelijkende pupilbeweging. In de eerste plaats immers zijn in het beschouwde geval de bewegingen voor het belichte en het onbelichte oog gelijk, in de tweede plaats verlopen deze be-

wegingen als functie van den tijd op geheel andere wijze dan de helderheidsverandering.

De beweging van de pupil is overigens steeds duidelijk merkbaar, doordat men een fractie van een seconde na den aanvang van de belichting de meetvlakjes donkerder ziet worden.

§ 9. Andere aanwijzingen voor het bestaan van α -adaptatie.

a. *Simultaan contrast.*

Drukken wij α -adaptatie uit als een momentane vermindering in helderheid van objecten, welke zich nabij een zeer helder object bevinden, dan is dit feitelijk hetzelfde als wat wij sinds lang kennen onder den naam: *simultaan contrast*. Door de studie van contrastverschijnselen bij personen met verwondingen in de zenuwbanen (BRÜCKNER) heeft men met zekerheid kunnen aantonen dat contrastverschijnselen ook in de hersenschors teweeggebracht kunnen worden. Aan de andere zijde wijzen de „contrast“-verschijnselen zooals ze bij dit onderzoek te voorschijn komen geheel in de richting van een localiseering in of nabij het netvlies van het betreffende oog. Insteede van de vraag te stellen: is „het“ simultaancontrast gelocaliseerd in het netvlies, of speelt het zich af in een der hoogere fasen van het gezichtsproces, ja is het niet een zuiver psychologisch verschijnsel, doet men dus beter simultaan contrast te beschouwen als een verzamelnaam voor allerlei verschijnselen van wederzijdsche beïnvloeding van deelen van het gezichtsveld. Men mag dus ten hoogste vragen naar het aandeel dat de α -adaptatie in het tot standkomen van het simultaan contrast heeft.

b. *Oogwandmetingen.*

Een andere aanwijzing voor het bestaan der α -adaptatie kreeg ik bij metingen, welke ik indertijd bij het eigen oog verrichtte over de doorlaatbaarheid van den oogwand voor licht van verschillende golflengten.

Valt een lichtpuntje op bijvoorbeeld de temporale zijde van de sclera dan ziet men, zooals ik reeds in § 2 punt V uiteenzette, het gezichtsveld oplichten. De intensiteit dezer herbelichting kan men nu gebruiken om de spectrale doorlaatbaarheid van den oogwand te meten, door namelijk hetzelfde licht, dat aanvankelijk op de

sclera geworpen werd, via een omweg onscherp af te beelden op een stukje opaline-glas dat zich op eenige cm vóór hetzelfde oog bevindt (Fig. 10). Voor de nadere bijzonderheden van de opstelling verwijs ik naar het betreffende artikel. Laat men nu afwisselend het licht vallen op de sclera en op het opalineglas, dan ziet de waarnemer het gezichtsveld periodiek oplichten. Door een verzwakker in den sclera-lichtweg aan te brengen, kunnen de helderheden aan elkaar gelijk gemaakt worden.

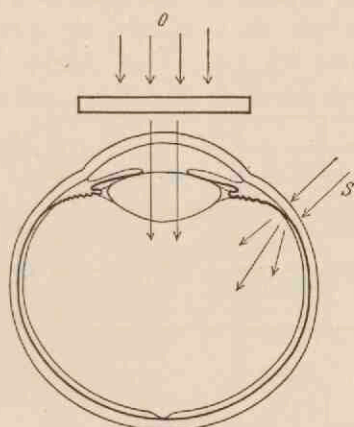


Fig. 10. Het meten van de helderheid der diasclerale herbelichting met de successief-methode.

S: homogene belichting van het netvlies via de sclera.

O: homogene belichting van het netvlies via het opalineglas.

De relatieve verzwakkingen, benodigd om voor de verschillende golflengten de helderheden in successief contrast gelijk te zien, zijn een maat voor de relatieve doorlaatbaarheid van den oogwand voor die verschillende golflengten. Het blijkt dan, dat het absorptiespectrum van den oogwand overeenkomt met dat van het bloed, hetgeen in verband met de roode kleur der herbelichting bij bestraling met wit licht ook niet te verwonderen is.

Bij deze metingen deed zich onverwacht een eigenaardige moeilijkheid voor. Viel namelijk licht via de sclera op het netvlies, dan lichtte het gezichtsveld aanvankelijk in een zekere helderheid op,

waarna deze echter tot een lager en constant niveau daalde. Viel daarentegen het licht via het opalineglas op het netvlies, dan was van een soortgelijk effect niets te bespeuren.

Uit de metingen volgde dit effect op de volgende wijze. Bij het wisselen der belichting kon ingesteld worden hetzij op gelijkheid van den overgang van „opaline” naar „sclera”, hetzij op gelijkheid van den overgang van „sclera” naar „opaline”. De laatste instelling gaf steeds een lagere waarde voor de sclera-helderheid. De beide mogelijkheden van de instelling vindt men in Fig. 11 schematisch aangegeven.

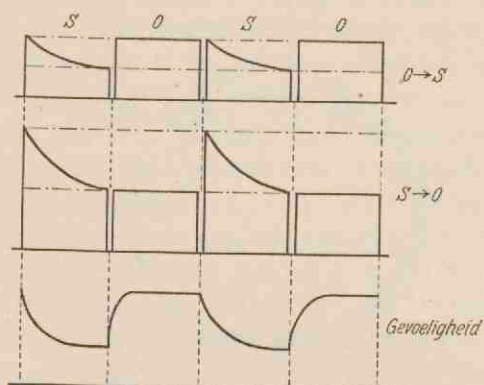


Fig. 11. Schematisch voorstelling van de meting der diasclerale herbelichting.

Boven: Instelling op gelijke helderheid van den overgang $O \rightarrow S$.

Midden: Instelling op gelijke helderheid van den overgang $S \rightarrow O$.

Onder: Hypothetisch verloop van de gevoeligheid van het netvlies.

Wat kan nu dit verschil veroorzaken? Het foveale en parafoveale gezichtsveld is voor de beide verlichtingswijzen tot tenminste 45° volkomen identiek, daar ze immers met dezelfde golflengte worden bestraald en op gelijke helderheid worden ingesteld.

Eén fysisch verschil bestaat echter nog tusschen de beide verlichtingswijzen. Het „opaline” licht valt n.l. vrijwel loodrecht, het „sclera” licht daarentegen onder een hoek van circa 50° op de

fovea. Het zou nu kunnen zijn, dat onder een dusdanigen hoek invallend licht een andere werking teweeg brengt dan het loodrecht invallend licht. Deze mogelijkheid is niet zoo verwerpelijk als zij oppervlakkig bezien moge schijnen, getuige de merkwaardige vondst van STILES en CRAWFORD (zie ook WRIGHT) dat de helderheid van een object afhankelijk is van de plaats waar het licht door de pupil het oog binnentreedt.

Er bestaan dus twee oorzaken, die het merkwaardige adaptatie-effect zouden kunnen veroorzaken. De eerste is de scheeve inval van de herbelichting, de tweede is de eventueele physiologische invloed, die zich vanuit het onder de belichte sclera gelegen periphere deel van het netvlies op de fovea doet gelden.

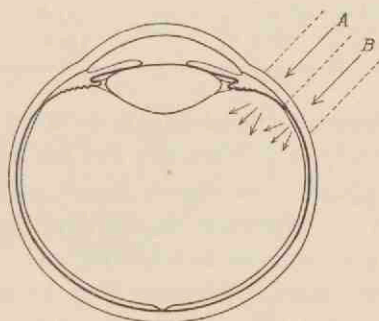


Fig. 12. Het meten van de helderheid der diasclerale herbelichting met de successief-methode: Homogene belichting van het netvlies via de sclera.

- A. Het licht passeert het periphere netvlies niet.
 B. Het licht passeert het periphere netvlies.

Teneinde hiertusschen te onderscheiden maakte ik gebruik van de gelukkige omstandigheid, dat het netvlies eerst op een afstand van 8 mm (te weten bij de ora serrata) gerekend vanaf den irisrand begint. Ik beeldde nu ter weerszijden van de ora serrata twee puntvormige lichtbronnen op de sclera af, die haar, door middel van een draaiende schijf, beurtelings verlichtten (Fig. 12). De herbelichtingen, die aldus door de beide lichtbronnen verkregen werden, konden nu in successief contrast vergeleken worden. Werden deze ongeveer gelijk gemaakt (waarbij de lichtbron A natuurlijk veel sterker

gekozen moest worden wegens de geringere doorlaatbaarheid van den oogwand ter plaatse) dan trad met name bij blauw licht het adaptatie-effect zeer duidelijk voor de lichtbron B en niet of nauwelijks merkbaar voor de lichtbron A op. Thans werd op analoge wijze als hierboven beschreven de helderheid van de herbelichting B in die van A uitgedrukt (Tabel V).

TABEL V.

De helderheid der herbelichting bij belichting van B uitgedrukt in die van A zoowel aan het begin als aan het eind der belichting. In willekeurige maat.

	Begin	Eind	Verhouding
I	80	37	0.46
II	70	32	0.46
III	57	27	0.47

Waar voor de beide herbelichtingen de hoek van inval op de fovea practisch dezelfde is, is hiermede dus het bewijs geleverd, dat hier het adaptatie-effect veroorzaakt wordt vanuit het onder de sclera gelegen, belichte, perifere netvliesdeel.

Het merkwaardigste hiervan is wel, dat zich volgens DONDERS, hetgeen ik voor mijn oogen volkomen kon bevestigen, van 8 tot 12 mm gerekend vanaf de irisrand een *blind* netvliesdeel uitstrekt. Ik herhaalde nu de reeds beschreven metingen met het opalineglas en varieerde daarbij den afstand van de lichtvlek tot den irisrand van 6 tot 10 mm.

Zooals Fig. 13 doet zien, begint het effect reeds bij 8 mm zeer duidelijk op te treden. *Dit beteekent dus, dat dit volkomen blinde netvliesdeel wat zijn verblindende werking betreft nog functionneert.* De eerste phasen van het gezichtsproces, waartoe dus ook de verblindung gerekend moet worden, vinden hier op normale wijze plaats, de blindheid zetelt eerst in een latere phase.

Daar bij deze proeven ieder der belichtingen slechts $\frac{1}{4}$ seconde duurde, moet zich binnen dezen tijd het proces van gevoeligheidsvermindering bij den aanvang en van gevoeligheidsherstel na het eind der belichting kunnen afspelen. We mogen den duur dezer processen, zoowel wat het ontstaan als wat het voortplanten betreft, dus gevoegelijk naar boven begrenzen met $\frac{1}{10}$ seconde.

Herinneren wij ons nu de eerste proef met indirecte verblinding, (§ 7) dan zijn we daar in de moeilijke omstandigheid, dat ook het overige door het waas belichte netvlies een invloed op de fovea zal kunnen uitoefenen, zoodat hier de relatieve bijdrage van lichtbeeld en lichtwaas tot de α -adaptatie niet zonder meer te scheiden valt. Bij deze oogwandmetingen echter, waar juist door de photometrie van het waas zijn invloed wordt uitgeschakeld, hebben wij te maken met een effect, dat uitsluitend door het peripheer getroffen netvliesdeel veroorzaakt kan worden.

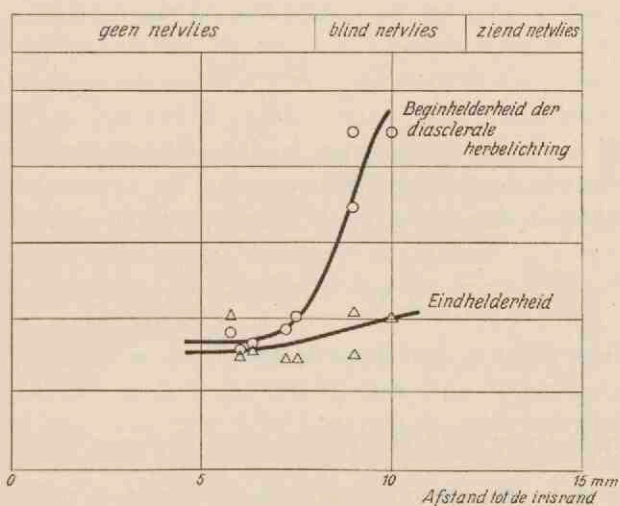


Fig. 13. De helderheid der diasclerale herbelichting als functie van den afstand van de doorlichte plaats tot den irisrand.

§ 10. Keuze van de te meten grootheid.

Bij de indirecte belichting zien wij de helderheid van het proefvlakje dalen. Wij kunnen dit nu interpreteren als een veranderde gevoeligheid van de fovea, als een andere vorm dus van de functie, die de psychologische in de physische helderheid uitdrukt. Bij de gebruikte compensatie-methode is het essentieel onmogelijk iets over de getalmaat dezer helderheidsverandering te weten te komen. Men kan slechts de verlichtingssterkten, benodigd om tot een zelfde helderheid der meetvlakjes te komen, in elkaar uitdrukken.

Noemen wij de aanvankelijke verlichtingssterkte E , de latere E^1 , dan wil ik onder den naam rendement de grootheid P invoeren, die gegeven wordt door de vergelijking:

$$\rho = \frac{E}{E^1}.$$

Is de gevoeligheid ongewijzigd dan is $\rho = 1$, is zij nul geworden dan is $\rho = 0$. Het rendement is dus te beschouwen als de relatieve gevoeligheid.

Als tweede grootheid, die dezelfde gegevens in anderen vorm uitdrukt, wil ik invoeren de verblinding V , gegeven door

$$V = \frac{E^1 - E}{E}.$$

V stelt dus voor de toename in de verlichtingssterkte gedeeld door de aanvankelijke verlichtingssterkte E .

Het verband tusschen ρ en V wordt gegeven door

$$\rho = \frac{1}{1 + V} \quad ; \quad V = \frac{1}{\rho} - 1.$$

Loopt ρ van 1 tot 0, dan loopt V van 0 tot ∞ .

§ 11. Invloed van helderheid en grootte der meetvlakjes.

De vraag die nu rijst is in hoeverre, bij overigens gelijke constellatie van het gezichtsveld, het rendement afhangt van de helderheid der meetvlakjes.

Daartoe werd het rendement gemeten bij meetvlakjes van verschillend reflectievermogen, waarmede een gebied van 1 : 16 werd bestreken. Zooals Fig. 14 doet zien is hierin geen systematisch verloop te bekennen.

Aanvankelijk vond ik bij verschillende metingen een gering effect, dat echter wel ten laste van de toen nog geringe nauwkeurigheid van waarnemen valt te leggen. Toen echter twee stellen meetvlakjes, het onderste wit, het bovenste zwart (Fig. 15) tegelijkertijd werden opgesteld, was er geen verschil in de instelling voor de beide stellen te constateeren. Steeds weer blijkt, dat hoezeer ook deze binoculaire methode een quantitative meting mogelijk maakt, toch, zooals bij

de hier beschreven proef, het tegelijkertijd waarnemen den voorkeur verkiest boven conclusies welke uit na elkaar genomen waarnemingen moeten worden getrokken. In de tweede plaats werd nagegaan in hoeverre de grootte der meetvlakjes een invloed op het rendement uitoefende. Daartoe werden vergelijkende metingen aan meetvlakjes, die in grootte varieerden tusschen 10×10 en 50×100 mm, verricht.

Ook hier bleek het rendement hetzelfde. Een uiteindelijke meting waarin twee zwarte meetvlakjes van 10×10 mm en twee witte meetvlakjes van 50×100 mm vergeleken werden (Fig. 16), toonde evenmin een aantoonbaar verschil.

Deze regel is dezelfde als die, welke reeds onder den naam van „wet van Fechner-Helmholtz” (WIRTH) en later als „proportionaliteitswet” (VON KRIES) of „coëfficiënten-wet” sinds lang als half theoretische, half experimenteele regel bekend is.

Op het buitengewone belang van het gelden van deze wetmatigheid zal ik later terugkomen en er voorloopig slechts deze, voor het experiment belangrijke, conclusie uit trekken:

„Het rendement is onafhankelijk van de helderheid en van de grootte der meetvlakjes”.

De geldigheid hiervan is dus getoetst voor een intensiteitsgebied van 1 op 16, een variatie der grootte van 1 op 50 en van de totale lichtsterkte van 1 op 800. Dat hier binnen geen afwijkingen gevonden zijn, bewijst dus tevens, dat de helderheid der meetvlakjes nog zoo gering is, dat zij hunnerzijds nog geen storenden invloed op de belichte plaats doen gelden.

§ 12. Invloed op het onbelichte oog.

Alvorens de verkregen meetresultaten uitsluitend te mogen interpreteren als veranderingen welke zich in het belichte oog afspeelen, is het noodzakelijk na te gaan, in welken zin en welke mate zich ook in het onbelichte oog veranderingen voordoen.

Daartoe bepaalde ik voor eenige zeer kleine, verschillend georiënteerde, donkere vlakjes de verlichtingssterkte, waarbij hun oriëntering nog juist viel te constateeren. Er werd met het rechteroog gekeken.

Werd nu het linker oog zoo sterk indirect verblind dat hiervoor een rendement van 0.12 optrad, dan werd voor het rechter oog de

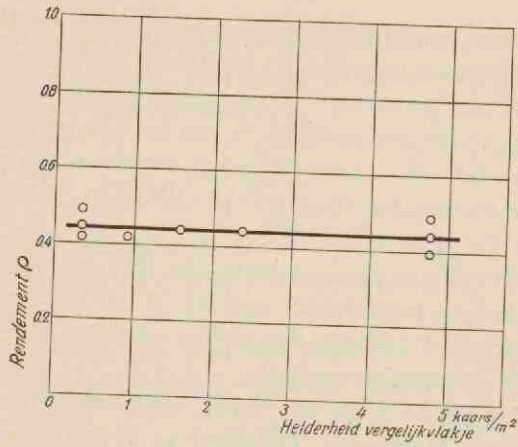


Fig. 14. Het rendement bij indirecte verblinding voor verschillende helderheden der meetvlakjes.

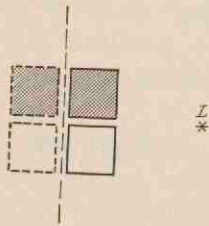


Fig. 15. Simultaan-vergelijking van de verblinding voor meetvlakjes van verschillende helderheid.

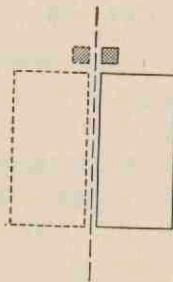


Fig. 16. Simultaan-vergelijking van de verblinding voor meetvlakjes van verschillende grootte en helderheid.

benodigde verlichtingssterkte inderdaad hooger, overeenkomende met een rendement $\rho = 0.62$. Bij deze metingen moeten wij thans het pupiloppervlak in aanmerking nemen. Bij de binoculair-metingen heeft namelijk een verandering in de grootte der pupillen, mits in dezelfde mate voor beide oogen, geen invloed op de verkregen instelling. Bij metingen van de drempelwaarde speelt echter de totale tot het oog toegelaten lichthoeveelheid en dus de pupilgrootte een rol. Er bleek nu, dat door de belichting de pupiloppervlakken tot op een fractie $\sigma = 0.64$ van hun oorspronkelijke waarde daalden. De gevonden verhooging van de drempelwaarde mag dus geheel op rekening van deze pupilvernauwing geschoven worden.

Daarmede was ook in overeenstemming, dat de drempelwaarde eenige seconden na de belichting weer de oorspronkelijke waarde bereikte.

Vervolgens verblindde ik een der oogen zoo sterk als verdraagbaar was met rood, geel, groen en blauw licht. Na afloop der belichting werden achtereenvolgens aan beide oogen eenige zeer flets getinte papiersoorten van verschillende kleur voorgelegd.

Terwijl nu voor het verblinde oog sterke nawerkende verkleuringen in de richting van de complementair-kleur waren te constateeren, was voor het onverblinde oog de kleurbenoeming der vlakjes dezelfde als die welke voor de belichting bestond.

Hiermede is dus aangetoond, dat zoo er een beïnvloeding van de helderheids- en de kleurzin van het onbelichte oog bestaat, deze toch in ieder geval zoo gering is, dat ze bij de hier gebezigde methoden niet tot uiting komt.

Er schijnt soms, met name bij gekleurde, bijvoorbeeld roode, indirecte verblindings, een zekere invloed op het onbelichte oog te bestaan. Naarmate namelijk het proefstukje een verzadigde groene kleur aanneemt, schijnt het vergelijkvlakje soms een zwakroode kleur aan te nemen. Schakelt men alleen het proefvlakje in, dan is de groene kleur minder opvallend, schakelt men alleen het vergelijkvlakje in, dan is de roze kleur zelfs onmerkbaar. Toch ziet men, de aandacht vestigende op één der vlakjes, terwijl het andere vlakje in- en uitgeschakeld wordt, de kleur van het eerste niet veranderen.

Ik zou daarom deze schijnbare verkleuring van het vergelijkvlakje als van psychologischen oorsprong willen beschouwen.

§ 13. Werkhypothese over den aard der α -adaptatie.

Het voorgaande heeft ons geleerd, dat de α -adaptatie een reversible toestand van verminderde gevoeligheid is, welke zich onder invloed van de belichting van een deel van het netvlies in de naburige netvliesdeelen instelt. Dit instellen en herstellen neemt zelfs bij de grootste afstanden slechts een tijd van de orde van 0.1 seconde in beslag.

Voor de verklaring dezer gevoeligheidsvermindering komt in aanmerking de mogelijkheid van een diffusie van afbraakproducten der photogevoelige stoffen vanuit de belichte plaats naar de omgeving, gepaard gaande met een diffusie van nog niet omgezette stof vanuit de omgeving naar de belichte plaats. Hiermede echter is de gevonden groote snelheid waarmede zich het verschijnsel afspeelt nauwelijks in overeenstemming te brengen.

Meer hoopvol is het aan te sluiten bij wat langs geheel anderen weg, namelijk uit de electro-physiologie, over de functie van het netvlies bekend geworden is.

In de eerste plaats treden bij belichting van het oog actiestroomen op, welke hun oorsprong vinden in het netvlies en welke bij den aanvang en bij het einde der belichting een gecompliceerd doch karakteristiek beloop vertoonen.

In de tweede plaats treden bij electriche doorstrooming van het oog lichtverschijnselen op. Wordt namelijk het oog in een bepaalde richting door een electriche stroom doorloopen, dan treedt een blauwachtig gekleurd lichtverschijnsel op, wordt het echter in de omgekeerde richting doorloopen, dan treedt dit niet op. Kijkt men dan echter naar een wit vlakje, dan ziet men dit aanmerkelijk donkerder. HELMHOLTZ vatte de wetmatigheden hiervan samen in den volgenden regel: *Doorstrooming van het netvlies in de richting van de staafjes naar de bijbehorende ganglioncellen (dus van buiten naar binnen) geeft de donker-gewaarwording; de tegengestelde doorstrooming geeft de licht-gewaarwording.*

Het staat dus vast, dat belichting van het netvlies potentiaalverschillen aan dit netvlies en daarmede in het geheele oog teweegbrengt, ook staat het vast dat potentiaalverschillen van bepaald teeken een gevoeligheidsvermindering teweegbrengen. Het ligt nu

voor de hand deze beide feiten met elkaar te verbinden en de volgende werkhypothese op te stellen.

„Belichting van een deel van het netvlies brengt aldaar een potentiaalverschil teweeg. Hierdoor stelt zich in het geheele oog en dus ook over het geheele netvlies een zekere potentiaalverdeling in, welke zich voor den lichtzin in een verminderde gevoeligheid uit.”

De nu te beschrijven experimenten hebben ten doel, de wetmatigheden der optredende gevoeligheidsvermindering op te sporen en waar mogelijk deze werkhypothese te toetsen.

HOOFDSTUK III

METINGEN BIJ WIT LICHT

§ 14. Het aanlopen van de α -adaptatie.

In § 7 beschreef ik hoe, bij het ontsteken der verblindingslichtbron, de helderheid van het proefvlakje zoo snel daalt, dat slechts de eindtoestand en niet het aanlopen daarvan viel waar te nemen. De verlichtingssterkte van het proefvlakje werd nu zoo ingesteld, dat bij verblinding een gelijkheid van helderheid verkregen werd. Na een periode van rust, waarna dus het proefvlakje veel helderder werd gezien dan het vergelijkvlakje, werd de verblinding opnieuw ingezet. De instelling werd weer vrijwel momentaan als juist erkend.

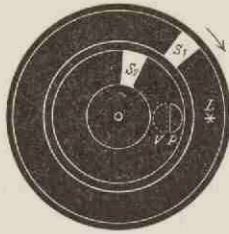


Fig. 17. Gebruik van het spletienwiel.

Soms waren er aanwijzingen voor een geringe, tot 20 % bedragende, geleidelijke daling, terwijl ik een overperiodiciteit nimmer kon constateeren. Het bleek dus, dat het op deze wijze onmogelijk is het aanlopen van de α -adaptatie gewaar te worden, zoodat naar een andere methode moest worden gezocht. Ik vond deze in de toepassing van het in § 5 beschreven spletienwiel. Dit wiel biedt de

mogelijkheid, het licht van de verblindingslichtbron gedurende korte, regelbare en na elkaar komende tijdsintervallen tot de oogen toe te laten. Het wiel werd nu zoodanig verticaal, in den lichtweg en loodrecht daarop aangebracht (Fig. 2 en 17), dat de spleet S_1 de verblindingslichtbron, de spleet S_2 de beide meetvlakjes vrij gaf. De scheidingscirkel tusschen de beide spleten had een omtrek van 100 cm, zoodat bij een omwentelingstijd van 1 seconde met één cm 0.01 seconde of wel 10σ correspondeerde.

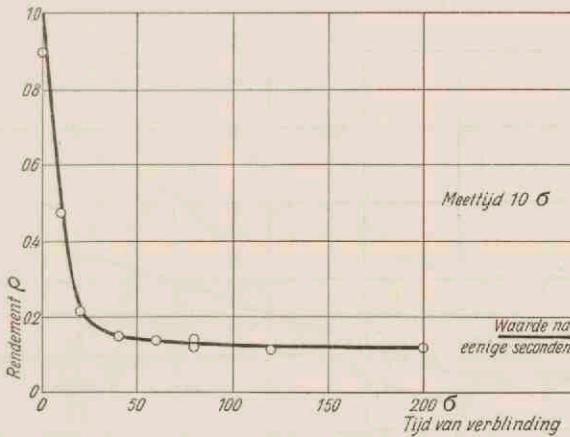


Fig. 18. Het aanloopen van de α -adaptatie. $\varphi = 6^\circ$.
Verlichtingssterkte op het oog 180 lux.

Ik beproefde nu, in hoeverre zonder verblinding een instelling op gelijke helderheid mogelijk was. Beschreef ik in § 6 reeds, hoezeer de binoculaire photometrie grootere moeilijkheden oplevert dan de monoculaire, veel sterker nog kwamen moeilijkheden te voorschijn bij de photometrie van opflitsende meetvlakjes. De voornaamste waren wel, dat gedurende de perioden tusschen de flitsen, waarin dus de blik geen steunpunt heeft, het vermeldde dwalen van de convergentie en de accommodatie in nog veel sterkere mate optrad. Daardoor zag ik aanvankelijk de beide meetvlakjes nimmer op de goede plaats ten opzichte van elkaar. Het bleek echter, dat na eenige oefening ook dit effect verdween. Na deze oefening werden dan ook behoorlijk reproduceerbare metingen mogelijk.

Ik deed nu het verblindingslicht (6 graden, 180 lux op het oog) gedurende tijden varierende tusschen 10 en 200 σ toetreden. De meetflits, die een duur van 10 σ had, sloot hierbij onmiddellijk aan.

Uit Fig. 18 ziet men hoe het rendement gedurende de eerste 100 σ daalt en vervolgens een constante waarde bereikt. Deze waarde komt vrijwel overeen met die, welke bij continue belichting gemeten wordt. Een bron van fouten is nog gelegen in den eindigen duur van den meetflits, waardoor immers niet exact het rendement op de vermelde tijden gemeten wordt, doch een gemiddelde waarde

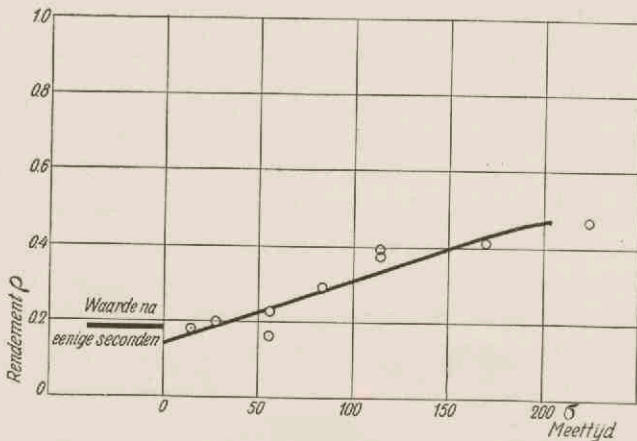


Fig. 19. Het rendement ρ voor verschillenden duur van den meetflits.

over een zich herstellende gevoeligheid. Ten einde dit effect te controleeren verrichtte ik eenige metingen bij *vasten* verblindingsstijd en *variabelen* duur van den daarop aansluitenden meetflits. Men ziet in Fig. 19 hoe inderdaad bij langeren duur van den meetflits hoogere waarden voor het rendement gevonden worden. De meetflits mag dus niet langer dan 10—20 σ duren.

Het aanloopen van de α -adaptatie is hiermede op den voet gevolgd. Het merkwaardigste resultaat is wel, dat zich hierin geen overperiodiciteit voordoet, het dalen vindt in eerste benadering volgens een *e*-functie plaats. Dat, zooals men uit de Fig. 18 en 19 ziet, de continu gemeten waarde van ρ steeds iets hooger ligt dan

de stationnaire eindwaarde bij de flitsmetingen is, zeker ten deele, te begrijpen, als men overweegt dat de grootte van de pupil bij de continue belichting kleiner is dan bij de flitsmetingen, de verblinding dientengevolge geringer. De effecten zijn van dezelfde orde.

Merkwaardig is het ontbreken van de overperiodiciteit wel in het bijzonder omdat deze, zooals uit het werk van BROCA en SULZER bekend is, wél optreedt bij het aanloopen van de gezichtsgewaarwording. De gezichtsgewaarwording, die bij den aanvang van de belichting stijgt, bereikt namelijk volgens hen de stationnaire waarde eerst na een maximum doorloopen te hebben. Dit wordt bevestigd door de metingen van ADRIAN en MATTHEWS over de electriche verschijnselen in de oogzenuw.

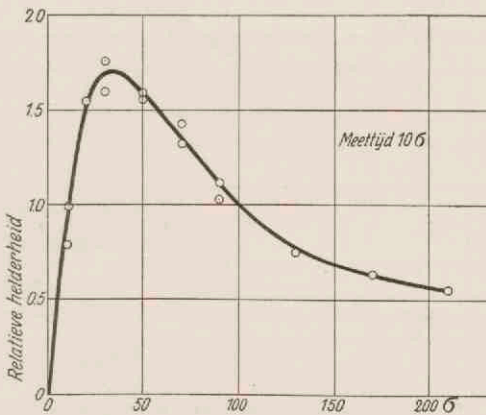


Fig. 20. Het verloop van de helderheidsgevaarwording als functie van den tijd. Helderheid 7 kaars/m².

Teneinde dit ook met mijn apparatuur te controleeren deed ik nu, zonder verblinding, het rechter meetvlakje correspondeeren met de spleet S_1 , het linker met de spleet S_2 . Het linker vlakje werd nu met constante intensiteit en variablen flitsduur, het rechter vlakje met variabele intensiteit en constanten flitsduur van 10σ aan het respectievelijke oog vertoond. De flitsen eindigden steeds op hetzelfde moment. De relatieve verlichtingssterkte, benoodigd om voor verschillenden flitsduur van het linkervlakje een gelijke instelling te verkrijgen, gaat door een duidelijk maximum (Fig. 20), in overeenstemming met de resultaten van BROCA en SULZER.

Vervolgens vroeg ik mij af in hoeverre het mogelijk was een verschil in het aanloopen te constateeren bij verblinden van een plaats *nabij*, respectievelijk *verder* verwijderd van, de fovea. Daardoor zou eventueel de voortplantingssnelheid van de α -adaptatie over het netvlies gemeten kunnen worden.

Hiertoe werd een verblindingsflits van 20σ gegeven op een afstand van 10 graden van de fovea terwijl de meetvlakjes gedurende 20σ op verschillende tijden daarna opflitsten. Men ziet (Fig. 21) hoe het hierdoor verlaagde rendement eerst na circa 50σ een minimum bereikt en vervolgens weer stijgt. In hoeverre deze ver-

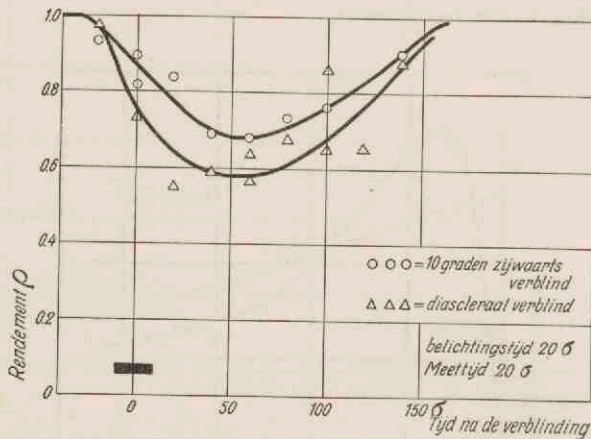


Fig. 21. Verloop van het rendement ρ bij een verblindingsduur van 20σ voor indirecte en voor diasclerale verblinding.

traging een effect van voortplanting, dan wel van traagheid in het aanloopen der α -adaptatie op de belichte plaats is, valt hieruit nog niet op te maken. Daarna werd echter een lichtflits van denzelfden duur op de temporale zijde van de sclera geworpen. Zooals men uit de graphiek ziet doet zich geen effect van voortplanting voor. Dit immers zou zich moeten uiten in een nalooopen van de diasclerale curve bij de indirecte. De voortplantingstijd van de α -adaptatie voor een afstand van een kwart van den oogomtrek is dus aanmerkelijk kleiner dan de eigen tijd van aanloopen en herstel der α -adaptatie en is, in getalmaat uitgedrukt, zeker niet grooter dan 20σ .

De α -adaptatie is dus een verschijnsel van verminderde gevoelig-

heid, dat zich binnen circa 0.1 seconde geleidelijk en zonder overperiodiciteit over het geheele netvlies instelt en waarvan de voortplantingstijd, zelfs voor de grootste afstanden, niet grooter is dan 0.02 seconden.

§ 15. Het niveau tijdens de indirecte verblinding. Intensiteits- en hoekafhankelijkheid.

Alvorens nu kan worden overgegaan tot het meten van de wijze, waarop het niveau bij indirecte verblinding van de intensiteit en den hoek afhangt, is het noodig te weten in hoeverre dit niveau

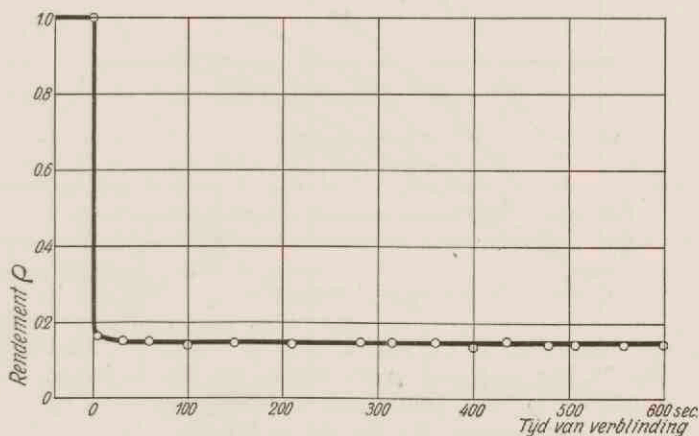


Fig. 22. Het rendement ρ tijdens de verblinding als functie van den tijd. $\varphi = 6^\circ$. Verlichtingssterkte op het oog 180 lux.

tijdens de verblinding verandert. Daartoe verrichtte ik onder dezelfde omstandigheden als waarbij het aanlopen van de α -adaptatie in de vorige paragraaf gemeten werd, metingen bij continue verblinding tusschen 1 seconde en 10 minuten. Deze metingen vertoonen, zoals fig. 22 doet zien, geen verloop grooter dan 20 % in de waarde van het rendement ρ .

Dit resultaat is buitengewoon bevreedend, aangezien immers de helderheid van ieder gefixeerd object en dus ook van de verblindingslichtbron geleidelijk daalt. Men zou dus verwachten dat, indien de verblinding verband houdt met de helderheid van de verblindings-

lichtbron, gaandeweg een dalen van de verblinding, dus een stijgen van ρ zou optreden. Een dusdanig effect valt hier niet te bespeuren. Voorloopig wil ik uit dit resultaat alleen de, voor het experiment belangrijke, conclusie trekken, dat het voor het meten van de indirecte verblinding vrijwel onverschillig is op welk moment dit geschiedt.

Waar dit echter geen enkel bezwaar opleverde, verrichtte ik de hieronder te beschrijven metingen toch op een vasten tijd, n.l. 5

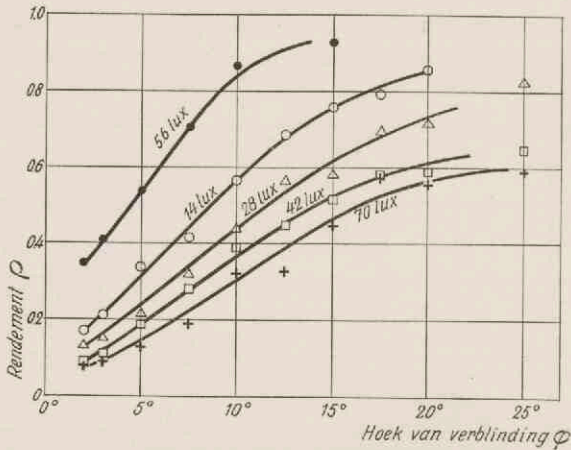


Fig. 23. Het rendement ρ als functie van den hoek van verblinding φ voor verschillende verlichtingssterkten E op het oog. Zie Fig. 24 en Fig. 46.

seconden, na het begin van de belichting. De verlichtingssterkte E op het oog varieerde hierbij tusschen 5,6 en 70 lux, de hoek van verblinding φ tusschen 2° en 25°.

Men ziet uit fig. 23, waarin de gemiddelde waarden van 8 instellingen zijn weergegeven, hoe onder invloed van de verblindingslichtbron als het ware een kuil in de ooggevoeligheid rondom de belichte plaats wordt veroorzaakt (zie echter § 20). Bij het zoeken naar een eenvoudige wetmatigheid in deze curven is het, wanneer men niet van zekere theoretische premissen over het mechanisme der verblinding uitgaat, willekeurig welke grootheid, hetzij ρ , $1-\rho$ of $V = \frac{1}{\rho} - 1$ men in verband met de

verlichtingssterkte E en den hoek van verblinding φ tracht te brengen.

De eenvoudigste empirische relatie welke uit deze en evenzoo uit vele latere metingen viel te destilleeren, was die van de als verblinding V gedefinieerde grootheid met E en φ .

Er blijkt namelijk, dat in eerste benadering (Fig. 24)

1. V recht evenredig met E en
2. V omgekeerd evenredig met φ is.

Wij kunnen dus de verblinding V schrijven als

$$V = P \frac{E}{\varphi} \dots \dots \dots (1)$$

en nu de afwijkingen van deze wetmatigheid uitdrukken in de afwijkingen welke in de aldus berekende grootheid P optreden. In tabel VI zijn de P-waarden opgegeven, zooals die berekend zijn uit metingen bij $\varphi = 3^\circ$ en $\varphi = 5^\circ$ en uit (zoo noodig door interpolatie verkregen) waarden van E tusschen 25 en 200 lux op het oog.

TABEL VI.

Samenvatting van de voor de grootheid P gevonden waarden bij verschillende experimenten¹⁾. Helder geadapteerd oog.

Hoek v. verblinding	3 graden					5 graden					Zie Fig.	
	25	50	75	100	200	25	50	75	100	200		
Verlichtingssterkte op het oog in lux												
Exp. 66	0.67	0.53	0.41			0.60	0.51	0.42			24	
" 71	0.61	0.57				0.56	0.52					
" 92		0.49					0.49					
" 92	0.46	0.43										
" 97	0.24	0.22	0.24	0.23								
" 204	0.48	0.43	0.41	0.39	0.35	0.32	0.32	0.29	0.30	0.28	27 22	
" 196				0.25						0.20(6 ^o)		
" 161												
Pupilgrootte in mm ² (norm. 13.2)	" 204	9.6	9.1	8.9	8.8	8.6	10.5	9.8	9.4	9.3	9.1	

Het afbuigen van de rechte lijn, dat uit fig. 24 blijkt, vindt in de tabel zijn uitdrukking in het dalen van de grootheid P voor hogere verlichtingssterkten. Voor een groot deel moet dit op rekening van het kleiner worden van den diameter der pupil geschoven worden. Over het algemeen geven waarnemingen bij grooteren hoek φ een

¹⁾ De experimenten strekten zich uit over een tijdvak van 5 maanden.

kleinere waarde voor P . Daar de verschillen in pupilgrootte voor verschillende hoeken juist het tegengestelde effect zouden veroorzaken, beteekent dit dus een reële afwijking van de in (1) geformuleerde relatie. Het zou beteekenen, dat de macht van φ iets groter dan één gekozen moet worden.

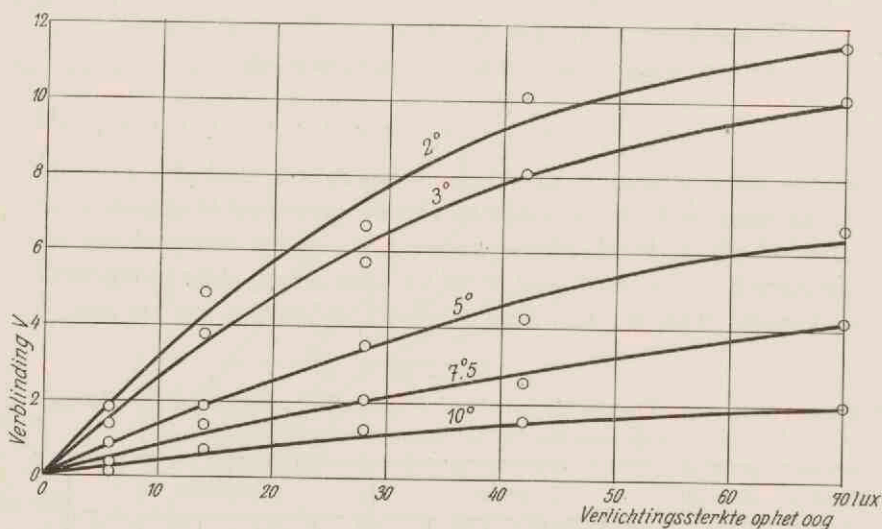


Fig. 24. De verblindings V als functie van de verlichtingssterkte E op het oog voor verschillende hoeken van verblindings φ Zie Fig. 23 en Fig. 46.

WRIGHT leidde uit de, uit zijn metingen van het directe herstel door extrapolatie verkregen, waarden van ρ tijdens de verblindings een relatie af. Hij vond n.l. dat ρ omgekeerd evenredig is met de intensiteit I van de verblindingslichtbron. Dit beteekent niets anders dan een bijzonder geval van de relatie (1) voor lage waarden van ρ . Immers de vergelijking (1)

$$V = \frac{1}{e} - 1 = P \frac{E}{\varphi}$$

gaat wanneer $\frac{1}{e} \gg 1$ is over in

$$e = \frac{\varphi}{PE} \dots \dots \dots (2)$$

en dus, wat E betreft, in de relatie van WRIGHT.

Ik wil nog op het belangrijke feit wijzen, dat in V een grootheid gevonden is, welke een lineaire functie van de intensiteit van het opvallende licht is. Steeds weer namelijk vinden wij in de zintuigphysiologie en in het bijzonder in de physiologie van het oog, relaties tusschen prikkelintensiteit en werking van den prikkel welke van logaritmischen aard schijnen. Zoowel de psychologische helderheid, als de grootte van den actiestroom (DE HAAS) laten zich hiermede het beste beschrijven. Dat voor V een lineair verband gevonden wordt, rechtvaardigt het vermoeden, dat wij hier te maken hebben met een proces, dat zich in een der eerste fasen van het gezichtsproces afspeelt.

§ 16. Verblinding binnen een ringvormige lichtbron.

Denken wij ons de α -adaptatie veroorzaakt door het zich instellen van een zekere potentiaalverdeling aan het netvlies, dan rijst de vraag welke media voor de geleiding der electriciteit in aanmerking komen. Geschiedt het wegvloeien der electriciteit door een bepaalde geïsoleerde laag van het netvlies, of geschiedt het door het geheele oog? Er zal zich een potentiaal instellen, welke in het eerste geval evenredig is met de logaritmie, in het tweede geval met de omgekeerde waarde van den afstand tot de belichte plaats. In principe kunnen wij dus de hoekafhankelijkheid der verblinding gebruiken om dit te toetsen. Daarvoor echter is het noodzakelijk het verband te kennen tusschen de aan het netvlies optredende potentiaal en de daardoor veroorzaakte gevoeligheidsvermindering of verblinding. Een zoodanig verband zouden we op dit oogenblik niet anders dan door een willekeurige hypothese kunnen beschrijven.

Door de hieronder te beschrijven proef kan men echter, de potentiaal eenmaal als oorzaak aangenomen, zonder kennis van dit verband onderscheiden tusschen de beide mogelijke vormen van potentiaalverdeling. Ik bepaalde daartoe de verblinding, welke zich binnen een ringvormige lichtbron instelt. Hiertoe werden als meetvlakjes 2 maal 5 witte papiertjes van een grootte van 10×10 mm, die zich op afstanden van 5 mm boven elkaar bevonden, opgesteld (Fig. 25). Als verblindingslichtbron fungeerde een lamp van 300 watt, welke een, door den waarnemer op een afstand van 1 meter aanschouwde, condensor homogeen vulde. Hiervoor werden achtereenvolgens zwarte schermen angebracht waarin cirkelvormige

openingen waren uitgesneden met een binnendiameter van 80 en een buitendiameter van resp. 85, 90, 100 en 120 mm. De 5 proefvlakjes bevonden zich ter rechterzijde van den loodrechten meridiaan dezer ringen, terwijl de vergelijkvlakjes zoo waren opgesteld, dat ze ter linkerzijde van den meridiaan gezien werden.

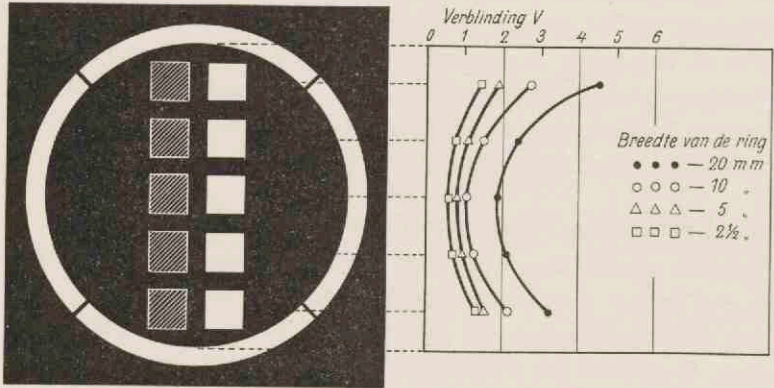


Fig. 25. Verblinding door een ringvormige lichtbron. Witte vierkanten: proefvlakjes. Gestreepte vierkanten: vergelijkvlakjes.

Werd nu de verblindingslamp ingeschakeld, dan bleek, dat de beide nabij de ring gelegen meetvlakjes in veel sterkere mate donker werden dan de overigen, hetgeen men eveneens in fig. 25 weergegeven vindt ¹⁾.

Wij zien dus, dat binnen een ringvormige lichtbron de verblinding niet constant is, doch met name naar den rand toe aanmerkelijk stijgt.

Denken we ons deze verblinding veroorzaakt door een potentiaal, dan wordt door deze proef de mogelijkheid van een speciale geïsoleerde geleidingslaag in het netvlies uitgeschakeld. De daaraan beantwoordende logarithmische potentiaal immers zou binnen een ring constant moeten zijn. Dat hier een zoo sterk verloop van de

¹⁾ De curven vertoonen allen een vrij uitgesproken asymmetrie. Bij nader onderzoek bleek, dat de proefvlakjes met een geleidelijk verloopende verlichtingssterkte belicht waren, terwijl in de berekening van de verblinding een gelijke verlichtingssterkte was ondersteld. De stelselmatigheid waarmede deze onverwachte fout in de curven tot uiting komt moge gelden als blijk van de nauwkeurigheid der waarnemingen.

verblinding binnen den ring gevonden wordt bewijst, dat de eventuele potentiaal zich in het geheele oog, althans in een halfruimte daarvan instelt. Daar de potentiaal dan omgekeerd evenredig met de afstand tot het belichte punt is, zou hieruit, in verband met (1), merkwaardigerwijze volgen, dat de potentiaal recht evenredig met de opvallende intensiteit is.

§ 17. Metingen van het herstel.

Heeft men het oog hetzij direct, hetzij indirect, hetzij diascleraal (als speciale vorm van indirecte belichting) verblind, dan ziet men na afloop de helderheid gaandeweg tot de oorspronkelijke helderheid terugkeeren, voor korte belichtingstijden snel, voor langere belichtingstijden steeds langzamer, totdat ten slotte, na belichtingstijden boven 3 minuten, een vrijwel constante tijd van herstel van circa 4 minuten gevonden wordt.

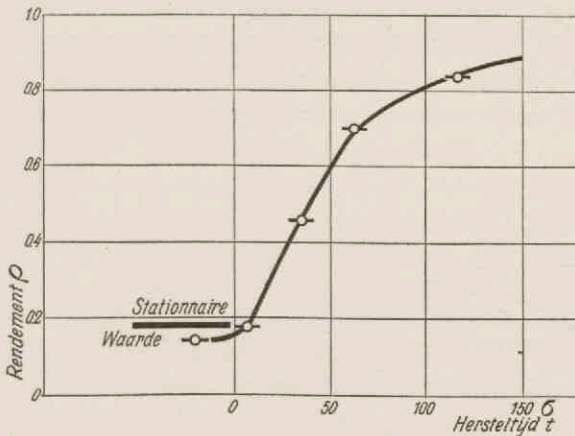


Fig. 26. Het herstel van het rendement ρ na afloop van een korten verblindingsflits.

Men ziet hier dus de facto voor zich het verdwijnen van het negatieve nabeeld, met dien verstande, dat wij hier niet alleen de nawerking op de voorheen belichte plaats, doch ook de nawerking in de naburige deelen van het netvlies gewaar worden (Zie LOSSACK).

Het herstel na zeer korte belichtingstijden van de orde van 0.1 seconde werd gemeten met behulp van het spletenwiel. De be-

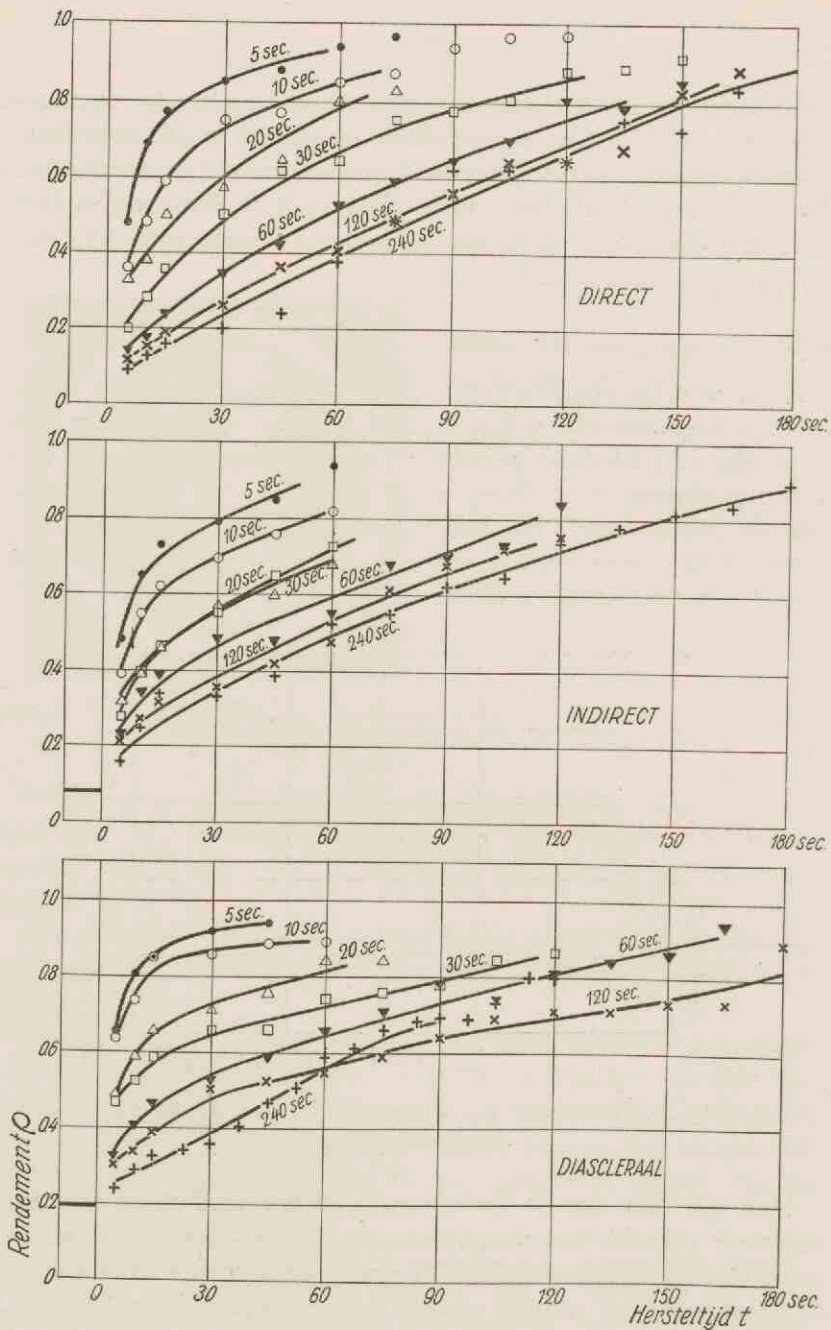


Fig. 27. Het herstel van het rendement ρ na verschillenden tijd van verblinding τ voor directe, indirecte en diasclerale verblinding.

Direct: Oppervlakte-helderheid van de verblindingslichtbron 710 kaars/m² (4600 photonen).

Indirect: hoek van verblinding $\varphi = 3^\circ$. Verlichtingssterkte op het oog 130 lux.
 Diascleraal: verlichtingssterkte op het oog 2900 lux.

lichtingstijd (spleet S_1) werd op 140 σ ingesteld, de duur van het flitsen der meetvlakjes op 14 σ (Spleet S_2), terwijl het opflitsen resp. — 21 + 7, 35, 63 en 119 σ na afloop der verblinding geschiedde. Zooals Fig. 26 doet zien, zet het herstel momentaan in. De halfwaardetijd is 50 σ .

De grootste aandacht besteedde ik aan het herstel bij langere belichtingstijden τ gelegen tusschen 5 seconden en 4 minuten. Ook het meten van het herstel richtte ik zoo in, dat het door den proefpersoon zonder hulp kon geschieden. De tijdaangave geschiedde door het tikken van een metronoom waardoor seconden aangegeven werden, terwijl langere tijden met het linker oog konden worden afgelezen op een naast het vergelijkvlakje zichtbaar gemaakt horloge. Zoowel voor de afleesschaal van de belichtingslamp (B, fig. 2) van het proefvlakje als voor het schrijfpapier, was de verlichting zoo spaarzaam, dat een storende invloed van dit licht op het zich herstellende oog niet meer kon worden aangetoond. Het was mogelijk instellingen te verrichten, af te lezen en op te teekenen met tusschenpoozen van 15 seconden. Op de 5de, 10de en 15de seconde na afloop der verblinding werd, teneinde het in den aanvang snellere herstel te kunnen volgen een instelling verricht. Deze drie instellingen werden na de 15de seconde opgeteekend.

Deze herstelmetingen, die WRIGHT op in principe dezelfde wijze voor directe verblinding verrichtte, behooren tot de fraaiste toepassingen van de binoculaire compensatiemethode. Als voorbeeld van herstelcurven bij variatie van den belichtingstijd τ tusschen 5 en 240 sec. geef ik fig. 27, waarin onder elkaar zijn weergegeven de herstelcurven bij directe, indirecte en diasclerale verblinding. Voor de directe verblinding was het stationnaire niveau tijdens de verblinding ρ_s slechts door extrapolatie verkrijgen, voor de indirecte en diasclerale verblinding kon dit tijdens de verblinding bepaald worden.

Bij de directe verblinding is het nog een open vraag of het slechts de helderheid van de verblindingslichtbron is, die het herstel bepaalt. Ik verrichtte daartoe dezelfde metingen als de in Fig. 27 voor een doorsnede van de verblindingslichtbron van 24 graden gegebene, bij 24, 15, 7 en 4 graden. Deze zijn in Fig. 28 weergegeven. De herstelcurven vertoonen geen systematisch verloop.

De grootte van het verblindende oppervlak heeft geen invloed

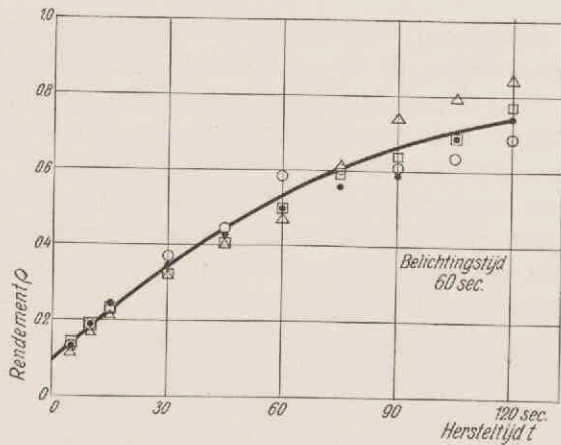


Fig. 28. Het herstel van het rendement ρ na afloop van directe verblinding voor verschillende doorsneden van de verblindingslichtbron. Oppervlakte-helderheid 710 kaars/m² (4600 photonen).

- Doorsnede verblindingslichtbron 24 graden.
- " " " 15 "
- △ " " " 7 "
- " " " 4 "

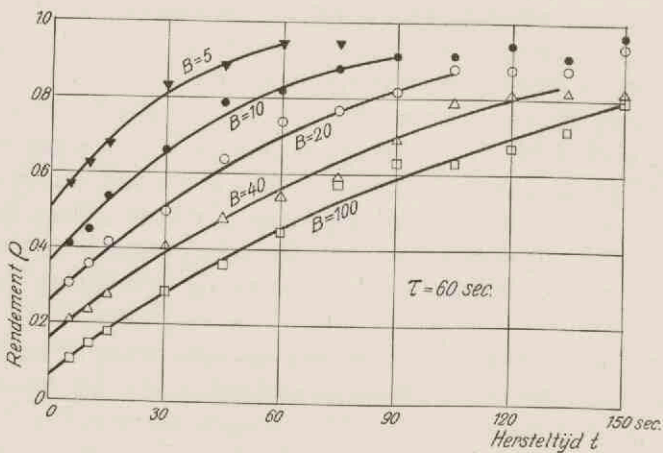


Fig. 29. Het herstel van het rendement ρ na afloop van directe verblinding voor verschillende oppervlakte-helderheden van de verblindingslichtbron. $B = 100$ komt overeen met 900 kaars/m² (5600 photonen).

op de directe verblinding. Men hoede er zich echter voor, uit dezen regel de conclusie te trekken, zooals WRIGHT deed, als zou de adaptatie een proces zijn, dat zich in ieder netvlieselement afzonderlijk, zonder invloed op de omgeving uit te oefenen of van deze te ondervinden, afspeelt.

Fig. 29 geeft de herstelcurven bij *vasten* belichtingstijd van 1 minuut voor *verschillende* helderheden van den verblindingslichtbron. De herstelcurven bij indirecte en diasclerale verblinding vertoonen een zelfde verloop.

§ 18. Discussie der herstelcurven.

Teneinde in staat te zijn de krommen te discussieeren, moeten wij ons een voorstelling vormen van een mogelijk mechanisme van het herstel. Wij hebben in § 3 gezien hoe, ook wat den kleurzin betreft, de nawerkende gevoeligheidsvermindering steeds te beschrijven is als een verminderde aanwezigheid der drie hypothetische photogevoelige stoffen. De aanloop der verblinding zou dan bijvoorbeeld te denken zijn als een photochemische omzetting dezer stoffen, het herstel als de regeneratie daarvan.

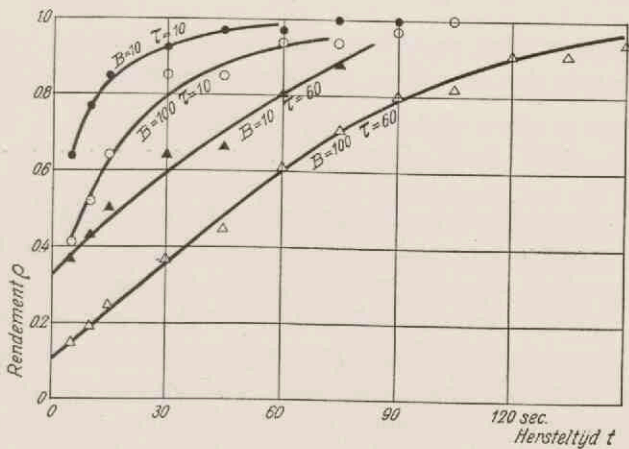


Fig. 30. Het herstel van het rendement ρ na afloop van directe verblinding voor de combinaties van twee belichtingstijden en twee oppervlakte helderheden. $B = 100$ komt overeen met 710 kaars/m^2 (4600 photonen).

Beschouwen wij nu echter het herstel zooals dit zoowel bij directe, als bij indirecte en diasclerale verblindings optreedt, dan blijkt dit, zooals Fig. 27 doet zien, kwalitatief geheel hetzelfde te zijn. In geen enkel geval heb ik een onderscheid kunnen aantoonen tusschen het verloop der herstelcurven bij directe, indirecte of diasclerale verblindings. Het belangrijkste waarin zich de herstelcurven onderscheiden, is dat, terwijl de curven voor verschillende intensiteiten nagenoeg evenwijdig loopen, die voor verschillende belichtingstijden voor lagere τ veel steiler verlopen. Dit vindt men ook uitgedrukt in Fig. 30, waarin de herstelcurven zijn weergegeven voor de combinaties van twee intensiteiten en twee belichtingstijden. Het is daaruit duidelijk dat de vorm van de herstelcurven niet uitsluitend bepaald wordt door de bereikte stationnaire waarde van ρ .

De herstelcurven moeten door ten minste twee onafhankelijke parameters gekenmerkt worden. Dit beteekent dus dat de eventueele terugvorming niet alleen een functie is van de concentraties van aanwezige en niet aanwezige photogevoelige stof, doch tevens van een andere, onafhankelijk daarvan veranderlijke, grootte.

Noemen wij de aanwezige stof x , de niet aanwezige y , waarbij

$x + y = N$ en dus $\rho = \frac{x}{N}$, $1 - \rho = \frac{y}{N}$ en $V = \frac{y}{x}$, dan wordt door

den bovengenoemden regel bewezen, dat de grootte welke het weer toenemen der aanwezige stof bepaalt te weten:

$$\frac{dx}{dt} = - \frac{dy}{dt} \dots \dots \dots (3)$$

een functie moet zijn van minstens één andere grootte dan x of y . Denkt men zich het herstel als van chemischen aard, dan ligt het voor de hand dit met de stofwisseling in het oog in verband te brengen. WRIGHT dacht hierbij aan een invloed van de zuurstof-stofwisseling, waarvoor ik als verdere argumenten nog wil aanvoeren de tijdelijke blindheid die door druk op het oog (waardoor de bloedcirculatie tijdelijk wordt stopgezet) teweeg wordt gebracht, en de vertraging der donkeradaptatie die bij zuurstofgebrek ontstaat (FISCHER en JONGBLOED).

Toch brengen alle hypothesen waarin de photochemische omzetting een rol speelt ons in aanmerkelijke moeilijkheden. Wij hebben

namelijk gezien, dat de momentaan intredende indirecte verblinding niet verklaard kan worden door de werking van het op de fovea vallende valsche licht. Wij hebben verder gezien, dat deze momentane verblinding zich met groote mate van waarschijnlijkheid laat beschrijven als een zich over het netvlies voortplantende toestand, die — wegens de snelheid — dan waarschijnlijk van electricischen aard zou zijn. Maar hoe moeten wij verklaren, dat zich ook voor de indirecte en de diasclerale verblinding een herstel voordoet dat volkomen analoog aan dat van de directe verblinding verloopt? Hoe moeten wij verklaren, dat het aanvankelijk sprongsgewijze herstel na korte belichtingstijden steeds minder uitgesproken wordt, zoodat het tenslotte bij een belichtingstijd van eenige minuten geheel verdwenen is en plaats heeft gemaakt voor een geleidelijk herstel vanuit het stationnaire niveau dat tijdens de belichting ontstaan is? Een voor de hand liggende hypothese, die wij zouden kunnen toetsen aan het verloop der herstelcurven, doet zich op dit moment feitelijk niet voor. En al kan onkunde dan ook nimmer door een rekenmethode verholpen worden (L.S.O.), toch kan ons misschien een nadere quantitative studie der herstelcurven de wetmatigheden hierin doen kennen. De zoo verkregen empirische relaties verschaffen dan wellicht eenigen steun bij het ontwikkelen van nadere hypothesen.

§ 19. De karakteristieke relaties.

In Fig. 31 vindt men dezelfde herstelcurven welke in fig. 27 reeds voor de directe verblinding werden weergegeven. Thans echter zijn zij uitgezet tegen den *totalen tijd* Θ waaronder ik den tijd verloop sedert het *begin* der verblinding, wil verstaan. Er blijkt nu:

1. *De curven zijn door vermenigvuldigen van de grootheid $1-\rho$ met een, voor iederen belichtingstijd constanten, factor met elkaar tot dekking te brengen.*

2. *Deze factor is recht evenredig met den belichtingstijd τ .*

De regel geldt voor deze curven tot een totalen tijd $\Theta = 200$ seconden. Voor grootere tijden treden aanmerkelijke afwijkingen op, die hun uitdrukking vinden in het feit, dat voor hooge belichtingstijden de herstelcurven (tegen t uitgezet) tot een limietwaarde naderen (Fig. 27). De grootheid $\frac{1-\rho}{\tau}$ is dus voor iedere waarde

tot aan $\Theta = 200$ sec. onafhankelijk van τ . Hoe daalt nu $\frac{1-\rho}{\tau}$ als functie van Θ ? Zet men $\log(1-\rho)$ uit tegen Θ of t dan levert dit voor kleine τ steeds een concaaf verloopende curve. Dit beteekent dus dat in de vergelijking voor de terugvorming:

$$-\frac{dy}{dt} = Ay \quad \dots \dots \dots (4)$$

de grootheid A niet constant is, doch daalt bij toenemende t .

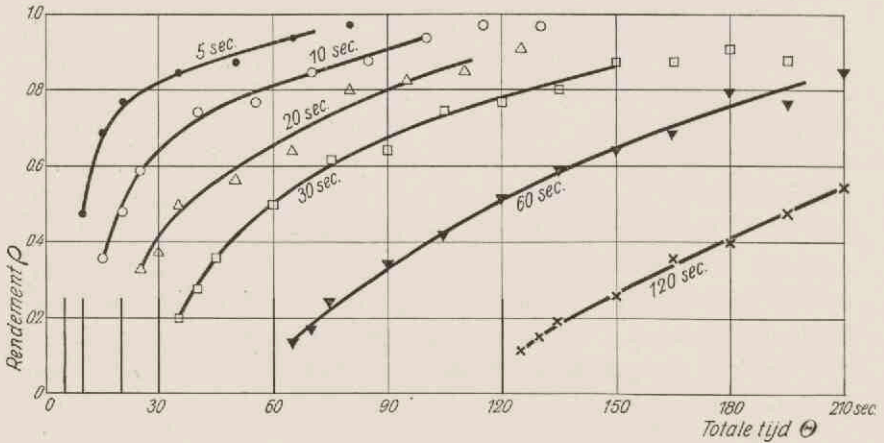


Fig. 31. Het herstel van het rendement ρ na afloop van directe verblinding als functie van den totalen tijd Θ . Zie Fig. 27.

Het dalen van y geschiedt dus niet volgens een mono-moleculaire reactie.

Zet men echter $\log(1-\rho)$ uit tegen $\log \Theta$ dan blijkt:

3. Het verband tusschen $\log(1-\rho)$ met $\log \Theta$ wordt gegeven door een rechte lijn.

4. de helling van deze rechte is -1 .

In fig. 32 vindt men $\frac{1-\rho}{\tau}$ en Θ dubbellogarithmisch tegen elkaar uitgezet. Hiermede wordt een gelijktijdige toetsing van de vier regels verkregen. Regel 1 immers eischt het evenwijdig loopende, regel 2 het samenvallen en regel 3 het recht zijn der curven voor verschillende τ . Regel 4 tenslotte eischt het verloop onder een hoek van 45° .

De grootheid y wordt dus gegeven door

$$y = y_s \frac{\tau}{\theta} = y_s \frac{\tau}{\tau + t} \dots \dots \dots (5)$$

waarin y_s de stationnaire waarde van y voorstelt.

De halfwaarde tijd $t_{1/2}$ van y is dus

$$t_{1/2} = \tau \dots \dots \dots (6)$$

In tabel VII vindt men de halfwaardetijden zooals deze gemeten zijn bij een elftal experimenten, grootendeels met variatie van τ .

TABEL VII.

Halfwaardetijden van $1-\rho$ voor verschillende belichtingstijden τ .

Aard der verblinding	Direct							Indirect		Dia-scleraal		Gem. waarden van $t_{1/2}$	
	Experiment	118	121	123	124	125	126	165	162	196	137		173
Belichtingstijd τ in sec.	5	5					5	7	5	6	4	6	6
	10	11			11	5	11	15	8	10	5	8	9
	20	19					21	28	14	27	10	17	21
	30	35					36		20	27	19		27
	40							44				24	34
	60	45	76	104	54	40	63	62	34	44	45		57
	120	65						83	46	60	73		65
	240	79						89	65	70	67		74
Afwijkingen van het gemiddelde		~	+	+	~	-	+	+	+	-	~	-	
	Q_s	.03	.08	.06	.10	.34	.09	.07	.06	.21	.08	.19	.26
Zie figuur			29		30	28	27			27	27		33

Met opzet heb ik hier alle experimenten, ook minder betrouwbare, bij elkaar vermeld teneinde het resultaat niet te flatteeren. Ook de gemiddelde waarden voor verschillende belichtingstijden maakte ik op zonder aan de waarnemingen, wat zeker gerechtvaardigd geweest zou zijn, een verschillend gewicht toe te kennen. Het zoo verkregen verband tusschen den halfwaardetijd $t_{1/2}$ en den belichtingstijd τ vindt men weergegeven in fig. 33. Hierin vinden wij den regel bevestigd, dat voor belichtingstijden tot 60 sec. de halfwaardetijd

van het herstel gelijk is aan den belichtingstijd. De met behulp van (5) berekende herstelcurven voor $\rho_s = 0.08$ vindt men weergegeven in Fig. 34. Vergelikt men deze met Fig. 27, dan ziet men hoe goed

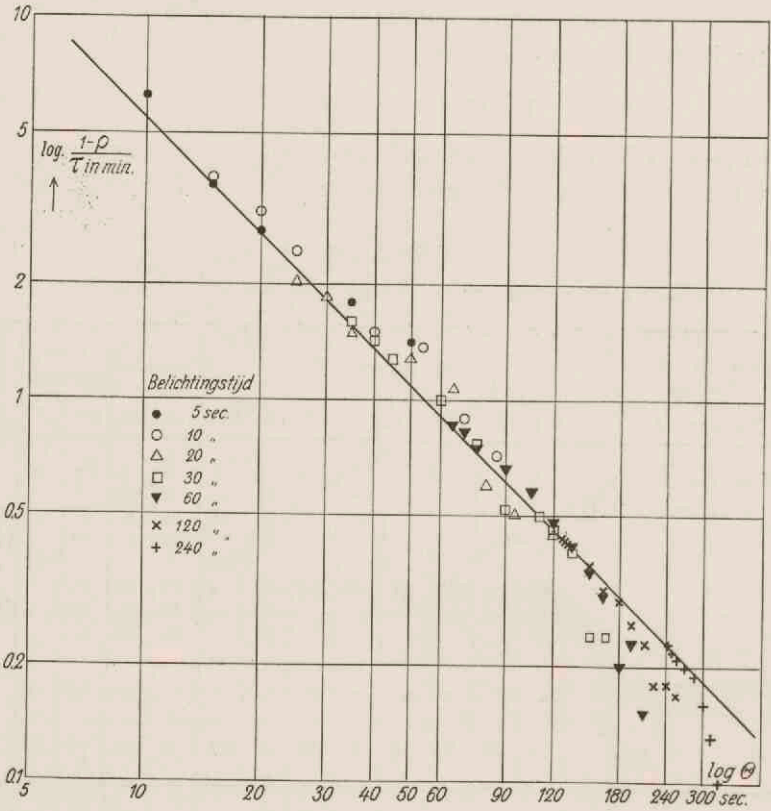


Fig. 32. Het lineaire verband tusschen $\log \frac{1-\rho}{\tau}$ en $\log \Theta$. Zie Fig. 27 en 31.

de overeenstemming is. Wat beteekent nu het in (5) geformuleerde verband tusschen y en t ? Door differentiatie vinden wij

$$-\frac{dy}{dt} = \frac{y_s \tau}{(t+\tau)^2} \dots \dots \dots (7)$$

en na substitutie van (5)

$$-\frac{dy}{dt} = \frac{y^2}{y_s \tau} \dots \dots \dots (8)$$

Het verdwijnen van y is dus te beschrijven als een verdwijnen volgens een bimoleculaire reactie.¹⁾

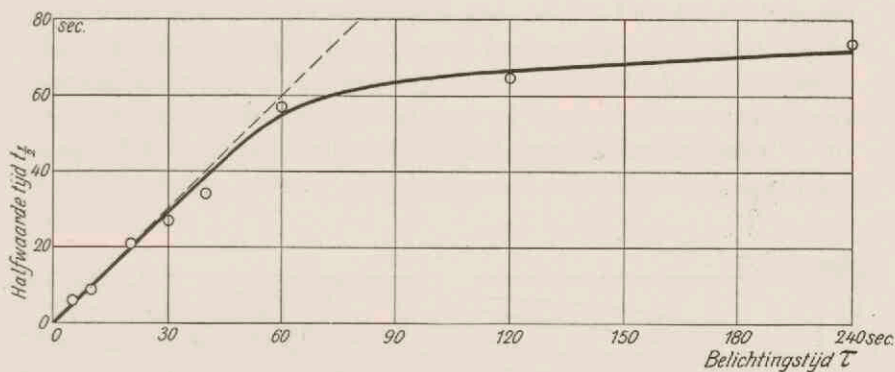


Fig. 33. Het verband tusschen den gemiddelden halffwaardetijd $t_{1/2}$ en den belichtingstijd τ . Zie Tabel VII.

¹⁾ Deze relatie is reeds door HECHT aangegeven op grond van metingen van den helderheidsdrempel (in de fovea) na afloop van een belichting van 5 minuten. De argumenten volgens welke hij deze drempelwaarden in verband brengt met de omgezette gevoelige stof zijn eenigszins duister. Hij vermeldt echter expliciet (p. 133): „The ordinates, representing the intensity of the threshold are directly proportional to the amount of photolytic products formed by the light.” Dit is kennelijk onjuist. Wanneer de hoeveelheid photogevoelige stof x gedaald is, zal voor het bereiken van den drempel van zichtbaarheid een intensiteit I benodigd zijn, welke omgekeerd evenredig is met x . Dus

$$I = \frac{A}{x} \dots \dots \dots (9)$$

Helaas geeft HECHT de berekeningen volgens welke hij tot de theoretische waarden van I komt niet weer. Bij bewerken van zijn waarnemingen volgens de in (9) geformuleerde onderstelling vond ik echter, ondanks zijn hierboven aangehaalde bewering, voor de grootheid y gegeven door

$$y = \frac{A}{I_{\infty}} - \frac{A}{I} \dots \dots \dots (10)$$

de beste overeenstemming met de door hem onderstelde bimoleculaire reactie. Niet echter voor de grootheid I .

Merkwaardig is, dat in de constante van de terugvorming (6) de belichtingstijd τ optreedt.

Met de formulering (8), welke de mathematische uitdrukking voorstelt van de in 1—4 vervatte empirische relaties, zijn de herstelcurven echter nog niet geheel bevredigend te beschrijven. Er valt namelijk een duidelijk systematisch verloop in de verschillende experimenten te bekennen. In de tabel VII heb ik daartoe door + en — aangegeven die experimenten, welke overwegend hogere resp. lagere waarden dan het gemiddelde voor $t_{1/2}$ opleveren. Men

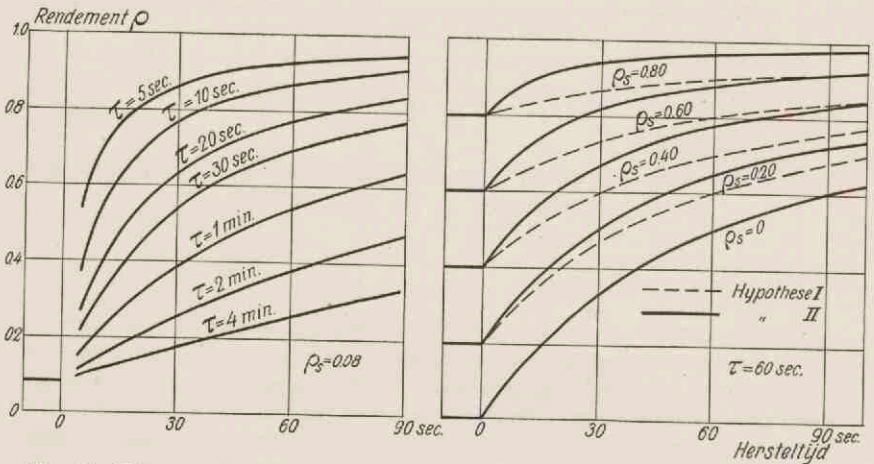


Fig. 34. Theoretische herstelcurven. Links: herstel voor verschillende belichtingstijden bij $\rho_s = 0.08$. Rechts: herstel voor verschillende waarden van ρ_s bij $\tau = 60 \text{ sec.}$

ziet, dat deze afwijkingen correspondeeren met lagere of hogere waarden van het stationnaire niveau ρ_s . Waarden van ρ_s beneden 0.10 leveren nimmer, waarden boven 0.10 steeds een min-afwijking. Dit was dan ook, gezien de curven die bij vaste belichtingstijden en variatie van de intensiteit werden opgenomen (fig. 29) te verwachten. Bij een constanten halfwaardetijd namelijk zouden de curven voor lagere intensiteiten een vlakker verloop moeten vertoonen, daar de raaklijnen voor verschillende intensiteiten elkaar moeten snijden in een punt van de lijn $\rho = 1$. Het blijkt echter, dat de herstelcurven voor verschillende intensiteiten nagenoeg evenwijdig

lopen (Fig. 29). Dit beteekent, dat voor lagere intensiteiten de halfwaardetijd geringer wordt. Wij moeten dus de regels 1 tot 4 beschouwen als een benadering voor hooge verblinding d.w.z. voor een stationnair niveau lager dan $\varrho_s = 0.10$. Om ook de herstelcurven voor geringere intensiteiten te beschrijven moeten wij (in overeenstemming met WRIGHT) den volgenden regel opstellen:

5. Bij vasten belichtingstijd lopen de herstelcurven voor verschillende intensiteiten aanvankelijk nagenoeg evenwijdig.

De formules (5) tot (8) kunnen wij hiervoor corrigeren door in te voeren

$$-\frac{dy}{dt} = \frac{y^2}{y_s^2 \tau} \dots \dots \dots (6^*)$$

zoodat het herstel voor $t = 0$ wordt

$$\left(-\frac{dy}{dt}\right)_{t=0} = \frac{1}{\tau} \dots \dots \dots (11)$$

Voor hooge verblindingen blijven nu de regels 1 tot 4 gelden, terwijl ook voor geringere verblindingen regel 5 geldt. In tabel VIII

TABEL VIII.

Overzicht van de verschillende grootheden volgens Hypothese I en II.

	Hypothese I	Hypothese II
Voldoet aan	regels 1, 2, 3 en 4	regels 1, 2, 3, 4 en 5
Niet aanwezige gevoelige stof	$y = \frac{y_s \tau}{t + \tau}$	$y = \frac{y_s^2 \tau}{t + y_s \tau}$
Herstel als functie van t	$-\frac{dy}{dt} = \frac{y_s \tau}{(t + \tau)^2}$	$-\frac{dy}{dt} = \frac{y_s^2 \tau}{(t + y_s \tau)^2}$
Herstel als functie van y	$-\frac{dy}{dt} = \frac{y^2}{y_s \tau}$	$-\frac{dy}{dt} = \frac{y^2}{y_s^2 \tau}$
Herstel voor $t = 0$	$\left(-\frac{dy}{dt}\right)_{t=0} = \frac{y_s}{\tau}$	$\left(-\frac{dy}{dt}\right)_{t=0} = \frac{1}{\tau}$
Halfwaarde tijd van $1 - \varrho$	$t_{1/2} = \tau$	$t_{1/2} = (1 - \varrho_s) \tau$

vindt men de verschillende grootheden, volgens beide hypothesen berekend, samengevat. Fig. 34 geeft rechts de volgens hypothese I zoowel als II berekende herstelcurven voor verschillende waarden van ρ_s bij een vasten belichtingstijd van 60 seconden.

Wij zagen in § 15, dat bij de studie van den stationnairen toestand een eenvoudig verband viel te constateeren tusschen de verblinding $V = \frac{1}{\rho} - 1$ en de grootheden E (verlichtingsterkte) en φ (hoek van verblinding). Bij de studie van het herstel echter kon ik een eenvoudige relatie van V met de overige variabelen niet constateeren. In stede daarvan treden nu eenige zeer eenvoudige betrekkingen voor de grootheid $1-\rho$ op. Dit is in termen van de photochemische omzetting geheel begrijpelijk.

De gevonden wetmatigheden kunnen echter door een algemeener beeld beschreven worden. Daartoe wil ik onderstellen dat de photo-gevoelige stof zich in twee toestanden A en B kan bevinden. In den toestand A draagt zij wel, in den toestand B niet tot de licht-gewaarwording bij. De belichting en de daarmee samenhangende verschijnselen hebben tengevolge, dat in en om de belichte plaats de photogevoelige stof van de toestand A in B overgaat. Na de belichting vindt een herstel plaats evenredig met het kwadraat van de concentratie van de stof in toestand B. Voor korte belichtingstijden is de constante, die dit herstel verder bepaalt, een functie van den belichtingstijd en van de stationnaire concentratie tijdens de belichting.

Deze formuleering omvat de verklaring door een photochemische omzetting, doch laat bijvoorbeeld ook de mogelijkheid open van een verplaatsing van de photogevoelige stof vanuit de werkzame laag der lichtgevoelige elementen naar de nabij omgeving.

HOOFDSTUK IV

VERDERE METINGEN EN VERSCHIJNSELEN

§ 20. Invloed van de plaats van fixatie.

In § 15 werd beschreven, op welke wijze de verblinding van den hoek van verblinding afhangt. De verblindende lichtbron werd daarbij dus op verschillende afstanden van de fovea afgebeeld, terwijl de invloed werd bepaald, welke op het zien van de fovea werd uitgeoefend.

De daar getrokken conclusie, die door fig. 23 werd gesuggereerd, als zou de belichting van een punt van het netvlies een kuil in de ooggevoeligheid daaromheen teweegbrengen, is dus feitelijk niet bewezen. De beschreven metingen zijn namelijk even goed te verklaren met de onderstelling, dat belichting van een punt van het netvlies de ooggevoeligheid van het geheele netvlies in dezelfde mate doet dalen, doch dat de mate waarin dit geschiedt afneemt wanneer de afstand van de belichte plaats tot de fovea toeneemt.

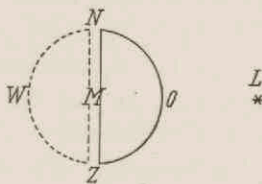


Fig. 35. De verschillende punten van fixatie.

Tusschen deze mogelijke opvattingen kunnen wij beslissen door, bij gelijkblijvende constellatie van verblindende lichtbron en meetvlakjes, het punt dat gefixeerd wordt anders te kiezen. Bij alle tot hertoe beschreven metingen werd het midden *M* van de scheidingslijn tusschen de beide meetvlakjes gefixeerd (Fig. 35). Reeds bij

de eerste metingen viel het mij op, hoezeer het resultaat door de keuze van het punt van fixatie beïnvloed werd. Was namelijk op gelijke helderheid ingesteld bij fixatie van M en geschiedde dit daarna bij fixatie van O , dan scheen het proefvlakje op frappante wijze helderder, fixeerte ik daarentegen W dan scheen het donkerder. Fixatie van N of Z leverde geen merkbaar verschil op. Dit beteekent dus, dat wanneer de fovea zich verplaatst van W naar O de verblinding gaandeweg afneemt. Werd L gefixeerd, dan was de verblinding zelfs nog lager.

Voor dat wij dit effect uitsluitend aan een invloed van de afstanden van lichtbron en meetvlakjes tot de fovea mogen toeschrijven, dient onderzocht te worden, in hoeverre hier de positie van de blinde vlek een rol speelt.

Vanuit de blinde vlek namelijk verbreiden zich de bloedvaten over het netvlies. Het is niet uitgesloten, dat stofwisselingsverschijnselen (b.v. zuurstof-stofwisseling) bij het tot stand komen der verblinding een rol spelen.

Hierdoor zou een asymmetrie in de verblinding kunnen ontstaan, welke niet zoo zeer door de plaats van de fovea, als wel door die van de blinde vlek ten opzichte van de lichtbron en de meetvlakjes, bepaald zou worden. Sommige der zich verplaatsende lichtverschijnselen bij sterken druk op het oog geven hier reeds een aanwijzing voor.

Ik verrichtte een reeks metingen, waarbij de lichtbron zich rechts, links, onder en boven de meetvlakjes bevond. Steeds werd het rechter oog verblind. Voor ieder der standen moest natuurlijk een specialen vorm van het scherm M_1 (§ 5) gekozen worden. De verblinding werd bepaald bij fixatie van het middelpunt en van eenige punten van den omtrek der meetvlakjes, die hier een straal van $3^{\circ}.5$ bezaten. De vier metingen vindt men verzameld in Fig. 36. Het proefvlakje is door een getrokken, het vergelijkvlakje door een gestreepte lijn aangeduid. Op de punten van fixatie is de daarvoor gevonden maat van verblinding V aangegeven. De proeven toonen aan, dat het effect meedraait met de verblindingslichtbron. Daaruit volgt, dat het beschouwde verschijnsel niet door de positie van de blinde vlek bepaald wordt. Samenvattende kunnen we de volgende regel opstellen: *De verblinding daalt wanneer het punt dat wij fixeeren*

zich beweegt vanaf het proefvlakje naar de verblindende lichtbron toe ¹⁾).

Laten wij thans de vraag naar het ontstaan van den „kuil” in de ooggevoeligheid nader onder het oog zien. Ik verrichtte daartoe een reeks metingen bij verschillende hoeken van verblinding, doch

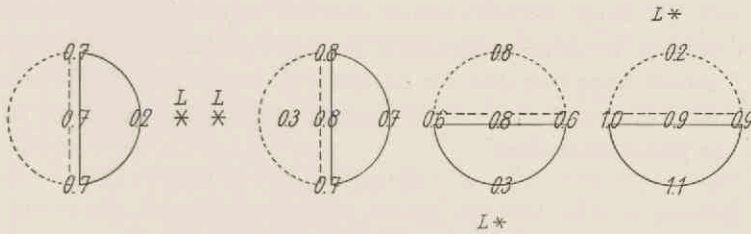


Fig. 36. Verblinding voor 4 verschillende constellaties van lichtbron en meetvlakjes. Op de punten van fixatie is de verblinding V aangegeven.

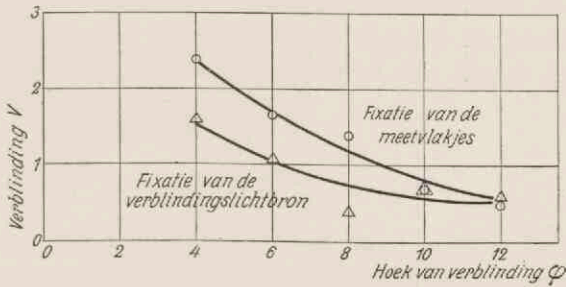


Fig. 37. De verblinding V als functie van den hoek van verblinding φ bij fixatie van de lichtbron L en van het middelpunt der meetvlakjes M .

fixeerde nu de verblindende lichtbron. Dergelijke metingen zijn, zooals ik reeds in § 4 uiteenzette, aanmerkelijk moeilijker dan diegene die bij fixatie der meetvlakjes verricht worden. Na eenige oefening echter zijn ook bij deze wijze van waarnemen reproduceerbare resultaten te verkrijgen. Fig. 37 laat de wijze, waarop de verblinding

¹⁾ Ik wil er nog op wijzen, dat in deze opstellingen twee maal het vergelijkvlakje tusschen de lichtbron en het proefvlakje geplaatst is (de standen links en boven). Steeds weer treft het, dat, bij het ontsteken van de lichtbron, het vlakje dat het meest van de verblindende lichtbron verwijderd is in helderheid daalt.

van den hoek afhangt, zien. Dit is dus de verblinding, welke door belichting van een vast punt van het netvlies (de fovea) op verschillende afstanden daarvan teweeg wordt gebracht. *De belichting van een punt van het netvlies brengt dus inderdaad in de omgeving een kuil in de ooggevoeligheid teweeg.* Ter vergelijking zijn in dezelfde graphiek ook metingen, waarbij *M* gefixeerd werd, weergegeven. De beide curven toonen dat het verschijnsel op dezelfde wijze van de hoek afhangt, doch dat de verblinding bij fixeren van *L* steeds hooger is dan die bij fixeren van *M*. *De fovea wordt dus sterker door een punt uit de omgeving, dan omgekeerd dit punt door de fovea, beïnvloed.*

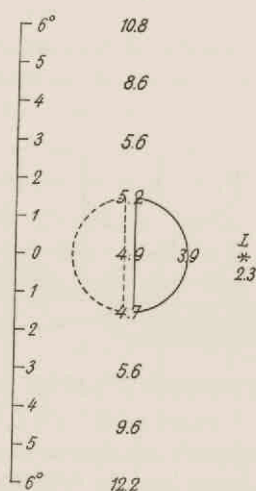


Fig. 38. De verblinding *V* bij fixatie van punten op de lijn *N—Z*.

De grootte van de pupil kan hier wederom storend optreden. Daar namelijk bij fixatie van de lichtbron de pupil kleiner is dan bij fixatie van een punt in de omgeving, zal hierdoor een kleinere verblinding bij fixatie van de lichtbron veroorzaakt kunnen worden. Deze invloed was echter bij de gebruikte opstelling slechts 12 % en kan dus het door fig. 37 aangetoonde verschil niet verklaren. Het beschreven effect treedt overigens ook op, wanneer een kunst-

matige pupil van 1 mm² voor het oog geplaatst wordt, waarbij de invloed van de pupil van het oog zelf immers weg valt.

Een volgende proef verrichtte ik bij vasten, kleinen hoek van verblinding van 3°, waarbij punten op verschillende afstanden, tot 6° boven en onder het middelpunt der meetvlakjes, gefixeerd werden. Men ziet uit fig. 38, hoe de verblinding toeneemt bij toenemenden afstand van lichtbron en meetvlakjes tot de fovea.

Gebieden buiten de fovea beïnvloeden elkaar dus sterker dan gebieden nabij of in de fovea.

In § 27 zal ik een verschijnsel, waarop deze regel van toepassing is, beschrijven.

Ik wil nog wijzen op het belangrijke feit, dat voor de verblinding de fovea een zoo uitzonderlijke plaats inneemt. Het is bekend dat de fovea een bijzondere plaats inneemt bij het schemerzien, hetgeen veroorzaakt wordt door de verdeeling der staafjes over het netvlies. Hier echter is het oog geheel licht geadapteerd, zoodat de verdeeling van staafjes en kegeltjes zeer waarschijnlijk *niet* voor de verklaring in aanmerking komt. Misschien speelt hier de eigenaardige kuilvormige bouw van de fovea, in verband met het electricisch geleidingsvermogen, een rol.

§ 21. De rol van de blinde vlek.

In principe lijkt het vruchtbaar, om na te gaan of belichting van het oog op en rondom de blinde vlek een effect op de verblinding zal uitoefenen. Hierdoor immers zou kunnen worden uitgemaakt in hoeverre de verblindende invloed zich werkelijk vanuit de belichte plaats doet gelden, dan wel vanuit de, door het verstrooiings- en buigingswaas, verlichte deelen.

Weliswaar werd in § 9 reeds aangetoond, dat voor de verklaring van het adaptatie-effect het verstrooiingswaas *niet* in aanmerking komt, maar niettemin is het wenschelijk dit resultaat, door metingen bij belichting van de blinde vlek, te verifiëren.

De curven van de hoekafhankelijkheid, zooals die in fig. 23 te zien zijn, vertoonen geen anomalïën bij $\varphi = 15^\circ$, waar zich de blinde vlek bevindt. Dit is echter niet te verwachten, daar het middelpunt van de blinde vlek zich, in het gezichtsveld gerekend, bij mijn rechter oog 2°.0 lager dan de horizontale lijn door de fovea

bevindt. Ik verrichtte derhalve een serie metingen, waarbij de verblindingslichtbron over de horizontale lijn door de blinde vlek bewogen werd. Zooals fig. 39 doet zien is er practisch geen vermindering bij $\varphi = 15^\circ$ te bespeuren. Daarna werd de verblindingslamp op verschillende plaatsen in de verticale lijn door de blinde vlek geplaatst. Ook hier was geen anomalie in de verblinding aan te toonen.

Belichting van de blinde vlek veroorzaakt dus een verblinding, welke niet minder is dan die welke ontstaat bij belichting van de omgeving daarvan.

Toch zou ik dit resultaat niet zonder meer als argument willen aanvoeren tegen de in § 9 getrokken conclusie. Weliswaar werd bij 15° de verblindingslichtbron niet scherp gezien, maar niettemin werd steeds een zeer helder diffuus lichtverschijnsel rondom de blinde vlek, gepaard gaande met een sterkere herbelichting, waargenomen. Dit wordt veroorzaakt door de sterke reflectie aan en

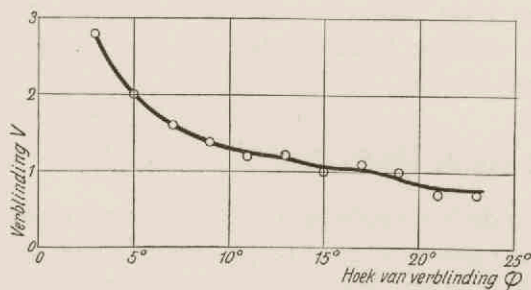


Fig. 39. De verblinding V voor verschillende hoeken van verblinding φ . De verblindingslichtbron is steeds op de horizontale lijn door de blinde vlek geplaatst.

breking in de witgekleurde papil. De waarnemingen van HELSON over lichtgewaarwordingen bij sterke belichting van de blinde vlek zijn hiermede geheel in overeenstemming. Het ontbreken van anomalieën in de verblinding bij de belichting van de blinde vlek geeft derhalve over de gestelde vraag geen duidelijk uitsluitel. Een meer vruchtbaar resultaat zou te verwachten zijn bij metingen aan personen met netvliesverwondingen.

§ 22. Verschijnselen bij gekleurd licht.

De in § 5 beschreven apparatuur staat het meten van de veranderingen in den helderheidszin toe. De veranderingen in den kleurzin kunnen dus slechts subjectief worden waargenomen. Voor het meten hiervan is het noodzakelijk één der proefvlakjes, bij voorkeur het vergelijkvlakje, ook wat betreft de spectrale samenstelling variabel te maken. WRIGHT bediende zich hiertoe van een trichromatischen colorimeter. Deze methode is in zooverre te verkiezen, dat zij een volkomen ijking van het verblinde ten opzichte van het onverblinde oog mogelijk maakt; zij heeft echter het nadeel, dat voor een meting drie instellingen noodzakelijk zijn. Wil men slechts de veranderingen in den totalen helderheidszin bepalen, dan verdient de eerste methode verre de voorkeur.

Bij de verblinding tijdens gekleurde belichting blijken zóó gecompliceerde verschijnselen op te treden, dat de trichromatische ijkmethode niet zonder meer toe te passen is. Ik zal deze verschijnselen beschrijven zooals zij, subjectief, bij de door mij gebruikte apparatuur optreden.

Wordt met rood licht verblind (roode indirecte of witte diasclerale belichting), dan is aanvankelijk (§ 7) slechts een verandering in de helderheid en niet in de kleur van het proefvlakje te bekennen. Eerst na eenige tientallen seconden neemt het proefvlakje een duidelijk groene kleur aan. Dit vestigt den indruk, alsof de α -adaptatie (het snelle proces) een verandering in den totalen helderheidszin zou teweegbrengen, en alsof slechts de β -adaptatie (het langzame proces) een vermoeidheid voor de verblindende golf-lengte zou veroorzaken.

Worden twee roode en twee blauwe meetvlakjes (zeer verzadigde pigmentkleuren) gebruikt, dan treedt het eigenaardige effect op, dat de verblinding voor beide vlakjes vrijwel dezelfde is, zoowel bij verblinding met rood als met blauw licht. Wordt echter de belichting na eenige minuten gestaakt, zoo treedt, in het bijzonder na blauwe verblinding, (verkregen met behulp van een blauw filter met een doorlating beneden $\lambda = 5500 \text{ \AA}$) een frappante sprong in de helderheid van het roode meetvlakje op. Het blauwe proefvlakje echter stijgt eerst geleidelijk in helderheid (Fig. 40). Bij gebruik van spectraal violet ($\lambda = 4358 \text{ \AA}$) als verblindend licht

en van een rood proefvlakje ($\lambda > 6000 \text{ \AA}$) was tijdens de belichting een iets geringere verblinding voor het roode vlakje dan voor het blauwe te constateeren. Na afloop der verblinding echter trad weer een zeer duidelijke sprong in de helderheid van het roode proefvlakje op.

Dat na afloop van de verblinding een verschillende gevoeligheid voor verschillende golflengten bestaat, is zonder meer te begrijpen uit onze kennis omtrent het negatieve nabeeld. Dat tijdens de verblinding een vrijwel gelijke gevoeligheidsvermindering voor alle

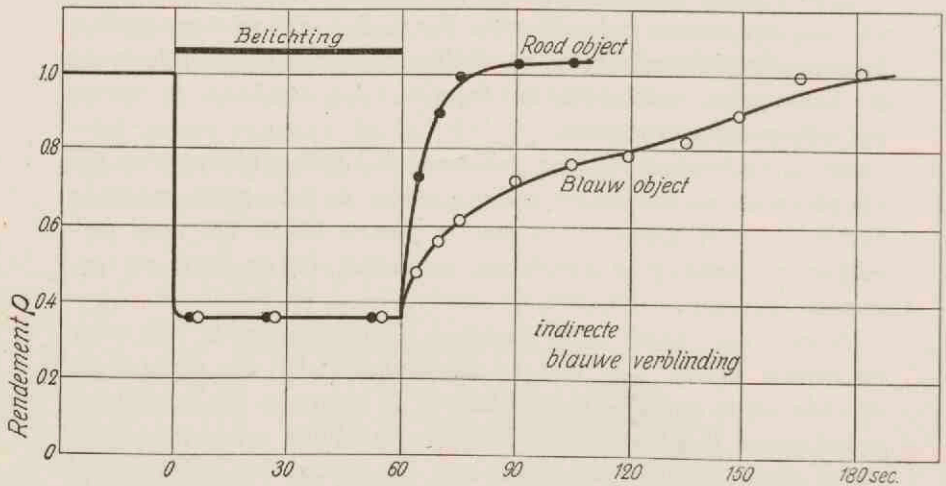


Fig. 40. Het herstel der gevoeligheid na blauwe verblinding, gemeten met roode en blauwe meetvlakjes.

golflengten bestaat is echter, in verband met het beeld dat wij ons van het nabeeld kunnen maken, onbegrijpelijk. Men zou kunnen meenen, dat het verschijnsel beschreven kan worden door te onderstellen, dat de α -adaptatie slechts de helderheids- en niet de kleurzin beïnvloedt. Dit is echter niet het geval. Bij de metingen over de voortplanting der diasclerale verblinding die ik in § 14 (Fig. 21) beschreef bleek namelijk dat, ook bij deze zeer korte verblindende flitsen, het witte proefvlakje een duidelijk groene tint vertoonde. Dit beteekent dus, dat de α -adaptatie een toestand is van verminderde gevoeligheid, welke niet voor alle golflengten dezelfde is, doch welke afhangt van de kleur van het verblindende licht. Daar-

mede is in overeenstemming, dat bij de diasclerale belichting met spectraallicht een momentane verandering in de kleur der herbelichting optreedt. Ook het volgende bekende verschijnsel wijst in dezelfde richting. Bij het kijken met gesloten oogen naar een helderen hemel is het gezichtsveld niet bloedrood doch flets rood gekleurd. Worden de oogleden echter gedurende een zeer kort moment belicht, dan licht het gezichtsveld bloedrood op. Er stelt zich hier dus momentaan een specifieke gevoeligheidsvermindering voor rood licht in.

De in het begin dezer paragraaf beschreven verschijnselen van schijnbare gelijke gevoeligheidsvermindering voor alle golflengten blijken hun oorzaak te vinden in een invloed der meetvlakjes. Bij de tot nu toe beschreven waarnemingen werden namelijk de meetvlakjes gefixeerd en werd daarna het verblindende licht ontstoken. Wordt echter eerst de verblindingslichtbron ontstoken en worden vervolgens de meetvlakjes zichtbaar gemaakt, dan treedt bij roode verblinding momentaan een groene verkleuring van het witte proefvlakje op. Na eenige seconden echter is deze verkleuring vrijwel onmerkbaar geworden; eerst na eenige tientallen seconden wordt zij opnieuw zichtbaar. Wordt tijdens de verblinding een ander punt in het gezichtsveld gefixeerd, dan is in het roode verstrooiingswaas duidelijk een donkerder, meer verzadigd getint nabeeld van het meetvlakje te constateeren.

Door het kijken met het (door α -adaptatie) voor rood verblinde oog naar een wit meetvlakje treedt onder invloed daarvan een tweede gevoeligheidsvermindering op welke, wat de verandering in den kleurzin betreft, aan de eerste tegengesteld is.

Op dezelfde wijze vinden nu ook de verschijnselen bij verschillend gekleurde meetvlakjes hun verklaring. Bij opflitsende meetvlakjes valt namelijk een verschil in verblinding te constateeren, bij langere fixatie echter wordt dit verschil genivelleerd.

Dat bij continu kijken naar de meetvlakjes een verblinding gevonden werd, welke schijnbaar voor alle golflengten dezelfde was, moet dus worden geïnterpreteerd als de resultante van twee processen. Het eerste is de kleurafhankelijke α -adaptatie, welke wordt veroorzaakt door de verblindingslichtbron. Het tweede is de nivelleerende werking welke wordt veroorzaakt door kijken met het aldus verblinde oog naar het proefvlakje.

De optredende verkleuringen zijn over het algemeen complementair aan die van het verblindende licht. Een merkwaardige uitzondering op dezen regel valt echter te vermelden. Bij verblinding met blauw, en zelfs met spectraal zuiver violet ($\lambda = 4358 \text{ \AA}$) treedt, tijdens de verblinding, een duidelijk rose verkleuring van het witte proefvlakje op. Deze verkleuring ontstaat en verdwijnt momentaan bij ontsteken resp. dooven der verblinding. Na afloop van een lange belichting blijft een gele verkleuring over.

Ik heb deze verschijnselen, zooals ze bij gekleurd licht optreden, ook al heb ik ze niet nader quantatief kunnen onderzoeken, hier willen vermelden, om een indruk te geven van hun buitengewone gecompliceerdheid. Wij hebben hier te maken met een aantal processen, welke zich \grave{e} n onder invloed van de verblindingslichtbron \grave{e} n onder invloed van de meetvlakjes afspelen. Bleek het bij de metingen bij wit licht reeds onmogelijk de optredende verschijnselen te beschrijven als een simpele photochemische omzetting der gevoelige stoffen, hier laat ons dit beeld nog verder in den steek. In principe echter stelt ons de binoculaire compensatiemethode in staat de verwickelingen dezer verschijnselen te ontwarren en door een quantitative studie een inzicht in het functionneeren der kleur-gevoelige elementen te verkrijgen.

§ 23. Invloed van de meetvlakjes op de metingen bij wit licht.

Nu wij in de vorige paragraaf den grooten invloed hebben gezien, welke door de meetvlakjes kan worden uitgeoefend op de uiteindelijke gezichtsgewaarwording, rijst de vraag in hoeverre er, ook bij de helderheidsmetingen, een storende invloed werkzaam geweest kan zijn. Ik beschreef in § 11 hoe voor verschillende helderheden der meetvlakjes de coëfficiëntenwet geldt. De invloed, die de meetvlakjes op het te meten verschijnsel zouden kunnen uitoefenen, hangt dus in ieder geval, in het beschouwde gebied, niet van hun helderheid af. Het is mogelijk dat de duur van zichtbaarmaken een rol speelt. Ten einde dit na te gaan verrichtte ik een aantal metingen bij indirecte verblinding, waarbij de belichting der meetvlakjes op verschillende tijden (gerekend ten opzichte van het begin der verblinding) werd ingeschakeld. Tevens verrichtte ik een reeks metin-

gen waarbij de meetvlakjes slechts gedurende het korte moment van meten werden zichtbaar gemaakt.

De metingen vindt men samengevat in tabel IX.

TABEL IX.

*Invloed van den duur van zichtbaarmaken der meetvlakjes op het rendement ρ .
Witte verblinding, witte meetvlakjes. $\varphi = 4^\circ$.*

Tijd waarop werd gemeten in seconden	Meetvlakjes en verblindend licht op den tijd nul ontstoken	Verblindend licht 60 sec. vóór den tijd nul ontstoken	Meetvlakjes 60 sec. vóór den tijd nul ontstoken	Meetvlakjes slechts tijdens het meten ontstoken
5	0.16	0.13	0.15	0.16
15	0.15	0.13	0.15	0.14
30	0.15	0.13	0.15	0.13
45	0.14	0.12	0.12	0.12
60	0.13	0.12	0.12	0.13
75	0.13	0.12	0.12	0.13
90	0.12	0.12	0.12	0.13

De metingen van de verblinding door wit licht met witte meetvlakjes zijn dus in het beschouwde gebied onafhankelijk van den duur van zichtbaar maken der meetvlakjes.

Toch treden in de meetvlakjes zelf aanmerkelijke veranderingen in de helderheid op. Dit controleerde ik door, zonder verblinding, het linker meetvlakje continu, het rechter vlakje met zekere tusschenpoozen gedurende 3 seconden te belichten. Het blijkt dan, dat gedurende de eerste minuut de helderheid van het continu gefixeerde vlakje uitgesproken daalt.

De helderheid van dit vlakje, uitgedrukt in de constante helderheid van het rechter vlakje, vindt men weergegeven in Fig. 41.

Het rendement van de meetvlakjes zakt dus tijdens het fixeren in den loop van de eerste minuut tot op een vijfde van de oorspronkelijke waarde.

Dat echter, zooals uit tabel IX blijkt, de duur van belichting der meetvlakjes geen invloed heeft op de verblindingswaarnemingen, bewijst, dat zich weliswaar onder invloed van de meetvlakjes secundaire veranderingen afspelen, doch dat deze, ondanks het feit dat de beide oogen zich in een anderen adaptatietoestand bevinden, van dezelfde orde zijn.

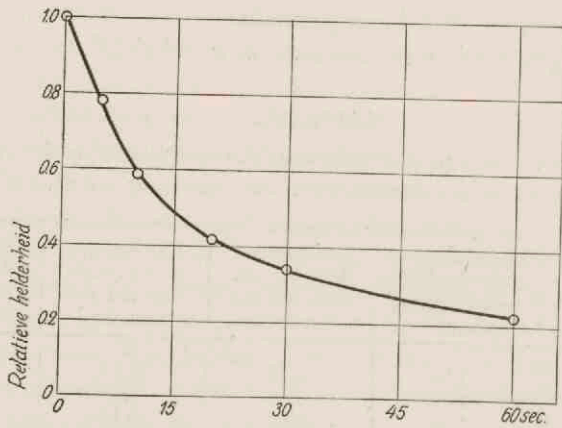


Fig. 41. Het dalen van de helderheid van een wit vlakje gedurende het fixeeren van M .

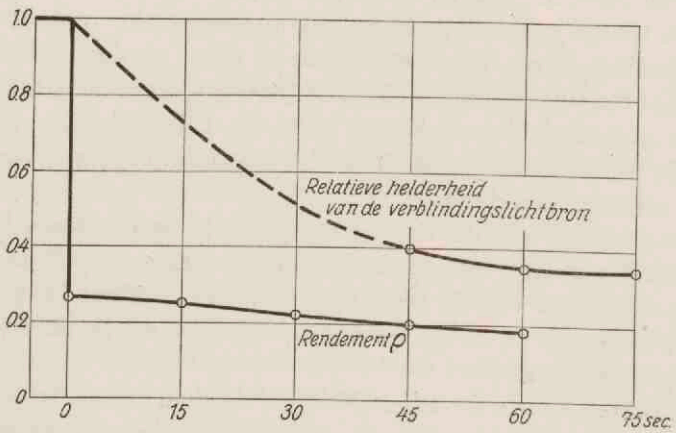


Fig. 42. Het dalen van de helderheid van de verblindingslichtbron gedurende het fixeeren van M ($\varphi = 3^\circ$). Ter vergelijking is hier tevens weergegeven het verloop van het, door dezelfde verblindingslichtbron veroorzaakte, rendement.

Wij kunnen ons nu afvragen welke veranderingen de helderheid van de verblindingslichtbron tijdens de belichting ondergaat. Ik mat deze veranderingen door via een spiegel de verblindingslichtbron tweemaal zichtbaar te maken, eenmaal voor het linker en eenmaal voor het rechter oog. Op dezelfde wijze als voor de meetvlakjes kon nu de helderheid van de verblindingslichtbron als functie van den tijd gemeten worden.

Het blijkt, zooals Fig. 42 doet zien, dat ook een zoo sterke lichtbron als de verblindingslichtbron gedurende de eerste minuut duidelijk in de helderheid daalt. Ter vergelijking zijn in dezelfde graphiek de waarnemingen voor het rendement van het proefvlakje, dus voor de door de verblindingslichtbron uitgeoefende gevoeligheidsvermindering, weergegeven.

Het belangrijkste resultaat is wel, dat de helderheid van het proefvlakje als functie van den tijd van verblindings in eerste benadering constant is, in tweede benadering een geringe daling ondergaat.

Is het nu de *helderheid* van de verblindingslichtbron die de daardoor uitgeoefende verblindings bepaalt, zoo moeten wij verwachten, dat bij dalen van de helderheid de verblindings daalt, het rendement dus stijgt. Fig. 42 doet echter zien dat het rendement daalt. Dit beteekent dus, dat de verblindings zetelt in een der eerste fasen van het gezichtsproces. Stijgt gedurende de eerste minuut de invloed van deze phase, zoo uit zich dit in de helderheid van de verblindingslichtbron, *zoowel* als in de helderheid van het proefvlakje als een verminderde lichtgewaarwording. Het is echter merkwaardig dat het dalen van het rendement zooveel geringer is, dan het dalen van de helderheid van de verblindingslichtbron. Wij krijgen ook uit deze verschijnselen een aanwijzing, dat het zien een verschijnsel is, dat, vergeleken met de verblindings, van secundaire aard is.

Tenslotte wil ik nog de waarnemingen over het herstel na directe verblindings bespreken. De herstelcurven zooals die fig. 27 doet zien, loopen geheel op dezelfde wijze voor directe en voor indirecte verblindings. Het is helaas niet mogelijk deze curven nauwkeurig naar den tijd $t = 0$ te extrapolereen. Het merkwaardige is echter dat wanneer wij deze extrapolatie, met behulp van de in § 19 geformuleerde empirische relatie, uitvoeren, eenzelfde waarde voor ρ tijdens de verblindings, zoowel na korte als lange belichtingen, gevonden

wordt. Dit feit is in overeenstemming met het te voorschijn treden van het vrijwel constante niveau bij indirecte verblinding. Het is echter in volkomen tegenspraak met de metingen over het dalen van de helderheid van de verblindingslichtbron tijdens het belichten. Dit dalen immers beteekent een voortdurend afnemen van de ooggevoeligheid op de belichte plaats, terwijl uit de herstelmetingen zou volgen een constant blijvende gevoeligheidsvermindering.

De oorzaak van deze tegenspraak is in de volgende toevallige omstandigheid gelegen. Bij de directe verblinding werden de meetvlakjes vanaf het begin der verblinding zichtbaar gemaakt. Voor het rechter oog heeft dit geen invloed, daar de helderheid van de verblindingslichtbron verre boven die van het proefvlakje overweegt. Voor het linker oog heeft het echter de invloed, dat het zich gedurende denzelfden tijd aan het vergelijkvlakje adapteert, als het rechter oog aan het verblindende licht. Het proefvlakje wordt dus na langere belichtingstijden vergeleken met een vergelijkvlakje van lagere helderheid. Het overigens zeer merkwaardige feit, dat de toenemende verblinding voor het rechter oog vrijwel gelijken tred houdt met het dalen van de helderheid van het vergelijkvlakje, bewerkstelligt, dat direct na afloop van de belichting de verblinding schijnbaar onafhankelijk is van den belichtingstijd. Een contrôle van dit feit kan verkregen worden door onmiddellijk (binnen 1 seconde) na afloop der belichting een instelling te verrichten. Worden de meetvlakjes zichtbaar gemaakt vanaf het begin der verblinding, zoo vindt men een, binnen eenige tientallen procenten, constante waarde van ρ . Worden de meetvlakjes echter eerst tegen het einde der verblinding zichtbaar gemaakt, zoo vindt men een waarde van ρ welke met toenemenden belichtingstijd τ duidelijk daalt.

De toevallige omstandigheid, dat bij directe verblinding de meetvlakjes vanaf het begin der verblinding werden aanschouwd heeft dus tengevolge gehad, dat de storende invloed van de geleidelijk toenemende verblinding uit de metingen werd geëlimineerd.

§ 24. Eenige subjectieve verschijnselen bij verblinding met wit licht.

Zowel bij directe als bij indirecte belichting treedt steeds naast de sterke helderheidsvermindering een geringe groene verkleuring van het meetvlakje op. Ook WRIGHT vond dit verschijnsel, al ver-

meldt hij de kleurverandering niet expliciet. Hij vond n.l. bij de trichromatische ijking na afloop der verblinding een relatief geringer aandeel van de roodcomponent dan van de groencomponent. Van de lichtbron welke voor directe verblinding werd benut en waarvan de oppervlaktehelderheid maximaal 900 kaars/m² bedroeg, behield ik steeds een positief violet getint nabeeld. Het verdwijnen van dit nabeeld hield gelijken tred met de groene verkleuring welke bij kijken naar een wit vlak viel te constateeren.

Bij de indirecte verblinding welke met een projectielampje geschiedde, en waarbij dus veel grootere oppervlaktehelderheden een rol speelden, trad een merkwaardig verschijnsel op, dat het beste viel waar te nemen bij direct fixeeren van de gloeispiraal. Bij den aanvang van de belichting namelijk was de gloeispiraal niet waar te nemen. Er deed zich aan het oog slechts een heldere, tamelijk scherp begrensde vlek, met een doorsnede van 1 graad, voor. Na verloop van 30 seconden zakte de helderheid van deze vlek merkbaar totdat zij na 60 seconden niet meer was waar te nemen. De gloeispiraal werd nu scherp en duidelijk zichtbaar. Na afloop der belichting was als positief nabeeld een geelgroene vlek met smallen rooden rand waar te nemen. Als negatief nabeeld (dus kijkende naar een wit vlak) trad een donkere groene verkleuring op. Deze had, evenals het positieve nabeeld, dezelfde grootte als de lichtvlek tijdens de fixatie van de gloeispiraal. De donkergroene verkleuring was omgeven door een scherp smallen lichter rand, waaromheen zich een, voor grootere afstanden allengs minder uitgesproken, groene verkleuring aansloot. Deze laatste geleidelijk verloopende groene verkleuring is dus te beschouwen als de subjectieve waarneming van de kuil in de ooggevoeligheid, die onder invloed van de verblindingslichtbron rondom de belichte plaats ontstaat. Het verdwijnen van het positieve nabeeld en van de groene verkleuring hield wederom gelijken tred en duurde eenige minuten. Hier hebben wij dus te maken met hetzelfde verschijnsel als het in § 7 beschreven herstel der gevoeligheid. Na afloop daarvan viel nog gedurende een dag het scherpe nabeeld van den gloeidraad (dat aanvankelijk niet te zien was) waar te nemen. Hier hebben wij dus te maken met zeer ingrijpende veranderingen in het netvlies, die reeds het karakter van een beschadiging beginnen te dragen.

HOOFDSTUK V

BETEEKENIS VAN DE GEVONDEN VERSCHIJNSELEN

§ 25. De coëfficiëntenwet.

Wij moeten ons het gezichtsproces denken als een aaneenschakeling van op elkaar volgende fasen. De op het netvlies vallende hoeveelheid licht brengt een zekere werking teweeg. Deze werking doet zich op de volgende fase gelden en zoo vervolgens, totdat tenslotte in de hersenen de uiteindelijke gewaarwording van helderheid en kleur tot stand komt.

Noemen wij de invallende hoeveelheid licht I en de daardoor in de achtereenvolgende fasen veroorzaakte werkingen: a, b, c, \dots, h , dan is ieder dezer werkingen te beschouwen als een functie van de werking in de vorige phase dus

$$\left. \begin{array}{l} a = a [I] = kI \\ b = b [a] \\ c = c [b] \\ \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots \\ h = h [g] \end{array} \right\} \dots\dots\dots (12)$$

De functie, welke de uiteindelijke helderheidsgewaarwording in de invallende hoeveelheid licht uitdrukt:

$$h = h (I), \dots\dots\dots (13)$$

kan dus een zeer ingewikkeld karakter bezitten. Verblinden van

het oog beteekent, dat aan de functie h een anderen vorm h' gegeven wordt

$$h' = h' (I) \dots \dots \dots (14)$$

Het verband dat tusschen deze beide functies bestaat zou in beginsel eveneens een ingewikkeld karakter kunnen dragen. De coëfficiëntenwet echter legt aan dit verband een aanmerkelijke beperking op. Zij drukt namelijk uit, dat de verhouding der intensiteiten, benoodigd om met het onverblinde en het verblinde oog een gelijke helderheidsgewaarwording te krijgen, onafhankelijk is van de intensiteit der objecten. Door één parameter ρ worden dus de beide functies h en h' eenduidig aan elkaar toegevoegd n.l.

$$h(\varrho I) \equiv h' (I) \dots \dots \dots (15)$$

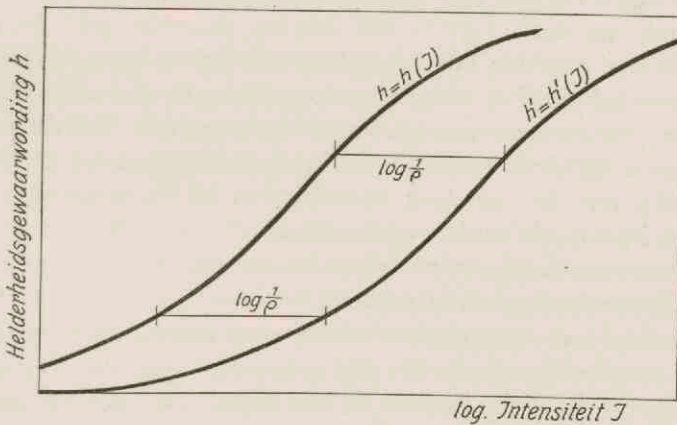


Fig. 43. Schematische voorstelling van het verband tusschen de helderheidsgewaarwording h en de intensiteit I .

$$h = h (I) \text{ onverblind oog}$$

$$h' = h' (I) \text{ verblind oog}$$

Denken wij (Fig. 43) de helderheidsgewaarwording h schematisch voorgesteld als functie van $\log I$, dan beteekent de wetmatigheid (15), dat de nieuwe helderheidsfunctie h' aan de oude evenwijdig loopt. Zij is over een afstand $\log \frac{1}{\rho}$ naar rechts verschoven.

Levert nu de geldigheid van de coëfficiëntenwet eenige aanwijzing

voor de vorm van de functie $h(I)$? Het is zeer fundamenteel dat dit *niet* het geval is. Ik wijs hierop nadrukkelijk, omdat b.v. WRIGHT de geldigheid beschouwt als „circumstantial evidence” voor het bestaan van een lineair verband tusschen h en I . HELMHOLTZ beschouwde h eveneens als rechtevenredig met I en introduceerde de geldigheid van de coëfficiëntenwet met de opmerking „so musz nach dem oben Gesagten bei wechselnder Grösze von H doch a ziemlich constant sein”¹⁾ VON KRIES echter drukte de wet uit in wat zij in wezen is, te weten een verband tusschen twee intensiteiten bij gelijke helderheid.

Het essentieele van de compensatiemetingen is namelijk, dat het oog wordt gebruikt als „nul”-instrument. De eenige uitspraken, die verlangd worden, zijn: gelijk, te helder, te donker, doch nimmer: hoeveel te helder of hoeveel te donker. De intensiteiten, benodigd om die gelijkheid van helderheid te verkrijgen, kunnen nu in elkaar uitgedrukt worden.

Volkomen dezelfde beschouwingen zijn ook te ontwikkelen voor de ooggevoeligheid in verschillende golflengten en voor de regels die voor het mengen van spectraalkleuren gelden. Steeds weer is het daar straffeloos *mogelijk* de helderheidsgewaarwording recht evenredig met de intensiteit te stellen en steeds weer bestaat de neiging bij verschillende onderzoekers, dit als aanwijzing te beschouwen voor het *bestaan* van een lineair verband tusschen helderheidsgewaarwording en intensiteit.

*De eenige aanwijzing echter, welke al deze verschijnselen leveren is, dat zij zich afspelen in die phase van het gezichtsproces waarin de werking (nog) een lineaire functie van I is*²⁾, dus bijvoorbeeld in de eerste phase

$$a = kI.$$

Denken wij ons de verblinding zoowel als het verschil in gevoeligheid voor verschillende golflengten, bepaald door verschil-

¹⁾ de grootheden H en a komen in de hier gebezigde notatie overeen met h en ρ .

²⁾ Het fysisch analogon van een lichtmeting in verschillende fasen is bijvoorbeeld een thermoëlement, waarvan de stroom wordt gemeten met een quadratisch aanwijzend instrument.

Voor een zoodanige apparatuur kan experimenteel het verband, dat bestaat

lende waarden van de grootheid k in vergelijking (12) dan worden daardoor de vermelde verschijnselen op bevredigende wijze beschreven, zonder dat echter een nadere conclusie kan of mag worden getrokken over de functie welke de helderheidsgewaarwording h in de primaire werking a uitdrukt.

§ 26. Verblindings.

De beteekenis van de gevonden verschijnselen is, dat bij het totstandkomen van de verblindings de physische of physiologische veranderingen in het netvlies verre in invloed overwegen boven de physische verschijnselen van verstrooid en afgebogen licht.

Wij hebben bij de verblindings dus niet in de eerste plaats te maken met een gestoorde lichtinval op het netvlies (HOLLADAY, BARTLEY en FRY, BOUMA) bij gelijkblijvende ooggevoeligheid, doch met een gestoorde ooggevoeligheid (GELDARD) bij vrijwel normalen lichtinval. Het lichtwaas zal ook een invloed doen gelden, waarschijnlijk in het bijzonder waar het de van de kleur afhankelijke verschijnselen betreft (deze immers worden gekenmerkt door den grooten invloed van secundaire processen). De hier beschreven verschijnselen zijn echter in hoofdzaak uit de veranderingen in het netvlies te begrijpen. (Zie ook COBB).

Ik wil er op wijzen dat alle metingen verricht zijn met een helder geadapteerd gezichtsorgaan. De verblindings komt echter in het dagelijksch leven het meest tot uiting bij het automobielverkeer bij avond, waarbij dus het oog ten deele donker geadapteerd is. Het is mogelijk, dat de wetten die voor dit geval gelden een ander karakter hebben, in ieder geval zal in het verband tusschen de verblindings en de intensiteit der verblindende lichtbron een andere constante optreden.

De beteekenis van het gelden van de coëfficiëntenwet kan met het volgende voorbeeld gekenschets worden.

tusschen de intensiteiten van verschillende golflengten benoodigd om een zelfden uitslag te verkrijgen, worden afgeleid. De wetmatigheden die daarvoor gelden geven natuurlijk nimmer een aanwijzing voor het bestaan van een lineair verband tusschen de intensiteit van het opvallende licht en den resulterenden uitslag van den meter, doch slechts voor het bestaan van een lineair verband tusschen deze intensiteit en de daardoor in het thermoëlement veroorzaakte primaire werking.

Ziet het verblinde oog een prent (dat is dus een conglomeraat van vlakjes van verschillende helderheid) dan ziet het alle helderheden in deze prent lager dan vóór de verblinding. Het is nu echter mogelijk de verlichtingssterkte van de prent met een zoodanigen factor ($\frac{1}{\rho}$) te vermenigvuldigen, dat alle helderheden van de prent weer de oude waarde bereiken. De gewaarwording die het verblinde oog van de prent ondervindt, is nu in eerste benadering identiek geworden met die welke het onverblinde oog aanvankelijk ondervond.

Het is dus zinnig de grootheid ρ of $V = \frac{1}{\rho} - 1$ als maat voor de verblinding in te voeren.

§ 27. Het roosterverschijnsel.

Onder den ongelukkigen naam „Straszeneckenerscheinung" is een verschijnsel bekend, dat door ÖHRWALL werd beschreven. De naam roosterverschijnsel lijkt mij hier meer aangewezen. In Fig. 44 vindt

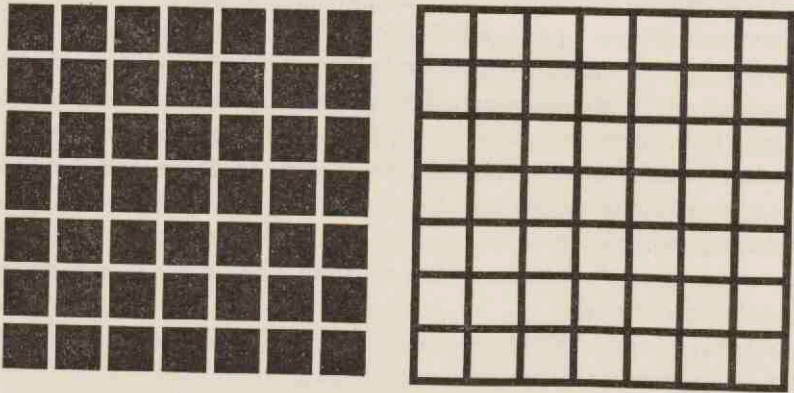


Fig. 44. Het roosterverschijnsel.

men twee objecten weergegeven, waaraan het verschijnsel valt te constateeren. Beziét men bijvoorbeeld het linker object, dan valt het op, dat alle kruispunten donkerder zijn dan de witte lijnen die hen verbinden. Hier hebben wij te maken met het simultaan contrast. In de naaste omgeving van een kruispunt bevindt zich namelijk meer

wit dan in de omgeving van een punt van een verbindingslijn. De ooggevoeligheid zakt dientengevolge in het eerste geval sterker dan in het tweede, waardoor de helderheidsindruk van de kruispunten lager wordt, dan die van de verbindingslijnen.

Het merkwaardige van dit roosterverschijnsel is nu, dat het ontbreekt in het kruispunt, dat men fixeert, terwijl het in de omgevende kruispunten duidelijk te zien is. Ik zou dit willen interpreteren als een subjectief waarnemen van het in § 20 beschreven effect, dat n.l. punten van het netvlies, die in de fovea gelegen zijn, een minder sterken invloed op elkaar uitoefenen, dan punten welke daar buiten gelegen zijn.

Soortgelijke beschouwingen verklaren eveneens de verschijnselen bij het rechter object.

§ 28. De elektrische verschijnselen bij belichten van het oog.

Bij belichten van het oog treden naast lichtgewaarwordingen, veranderingen in de ooggevoeligheid en elektrische verschijnselen op. Ik heb in § 13 gewezen op het nauwe verband, dat tusschen deze laatste verschijnselen bestaat, en daarin aanleiding gevonden tot het opstellen van een hypothese welke met name de gevoeligheidsvermindering als een verschijnsel van elektrischen aard duidt.

Deze hypothese maakt het begrijpelijk, dat de gevoeligheidsvermindering zich zoo snel op de belichte plaats en in de omgeving daarvan instelt. Ik wil thans nagaan in hoeverre het mogelijk is, aan het grove beeld dat daarmede van de verschijnselen verkregen is, eenige verfijning te geven.

Bezien wij daartoe allereerst den actiestroom zooals deze bij belichten van het oog optreedt (Fig. 45b). Deze bestaat in den „negatieven voorslag” *a*, den „initiaal top” *b* gevolgd door een sterke daling, waaraan zich, onder bepaalde omstandigheden, een nieuwe stijging aansluit. Reeds PIPER analyseerde den actiestroom in verschillende componenten. Het werk van GRANIT en medewerkers, waaraan Fig. 45b ontleend is, verleent aan een zoodanige analyse een hooge mate van waarschijnlijkheid. Het blijkt namelijk, dat de verschillende componenten I, II en III onder verschillende omstandigheden in verschillende verhoudingen kunnen optreden. Van deze componenten is slechts II als ontlading in de oogzenuw aangetoond.

Aangezien het beloop van deze ontlading als functie van den tijd bovendien overeenkomt met het beloop van de helderheidsgewaarwording (BROCA en SULZER, Fig. 45a geeft Fig. 20 op andere schaal weer), is daarmee aangetoond dat de componenten I en III betrekking hebben op verschijnselen, welke zich uitsluitend in het netvlies afspelen en niet in de gezichtsgewaarwording tot uiting komen. Er bestaat een groote gelijkenis tusschen de component III

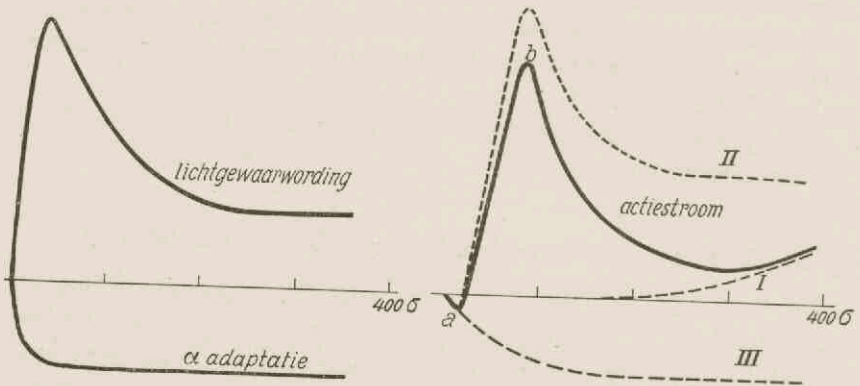


Fig. 45a. Het verloop van de helderheidsgewaarwording (Fig. 20) en van de α -adaptatie (Fig. 18) als functie van den tijd.

Fig. 45b. Het verloop van den actiestroom als functie van den tijd (Analyse volgens GRANIT).

en de in dit proefschrift beschreven α -adaptatie (Fig. 45a) ¹⁾. Het is merkwaardig dat GRANIT en THERMAN op grond van hun elektrische metingen juist aan deze component III een sterk inhibeerende werking toekennen.

Wanneer nu de component III identiek is met de α -adaptatie, moeten wij verwachten, dat in die gevallen waarin deze component

¹⁾ Men bedenke dat de metingen over lichtgewartwording, adaptatie en actiestroom zooals die in Fig. 45 zijn samengevat betrekking hebben op geheel verschillende omstandigheden van belichting en, wat den actiestroom betreft, op een geheel ander orgaan. De actiestroom werd namelijk gemeten aan het donker geadapteerde oog van een kat. Bij donkeradaptatie spelen alle verschijnselen zich langzamer af dan bij helder adaptatie, zoodat het verschil in tijdsduur van de verschijnselen in Fig. 45a en 45b niet als een bezwaar tegen het verband tusschen beide gevoeld behoeft te worden.

sterker tot uiting komt ook de α -adaptatie relatief sterker zal optreden. KOHLRAUSCH mat den actiestroom aan het oog van een duif voor licht van verschillende golflengten. Bij kortere golflengten werd de uitslag overwegend negatief, hetgeen beteekent, dat de component III voor die golflengten een grooter aandeel heeft dan

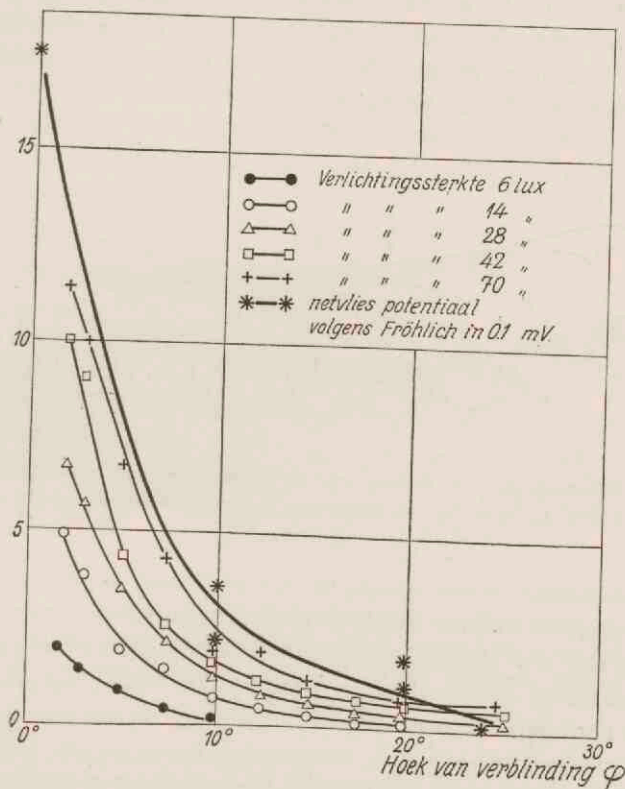


Fig. 46. De gelijkens tussen de netviespotentiaal en de verblinding V bij belichting van een gedeelte van het netvies. Zie Fig. 23 en 24.

de component II. SACHS vond eenzelfde effect bij het meten van actiestromen aan het eigen oog. Dit verschil in component III voor verschillende golflengten zou beteekenen, dat bij gelijke helderheid van een roode en een blauwe lichtbron de door de laatste veroorzaakte α -adaptatie sterker zou moeten zijn. Voor het bestaan van dit effect pleit het in § 9 voor diasclerale belichting van het oog

beschreven adaptatie-verschijnsel, dat des te sterker optreedt naarmate de golflengte van het gebezigde licht kleiner is. Bij metingen van de verblinding door licht van verschillende golflengten heb ik echter een duidelijk verschil niet kunnen aantonen.

Wanneer zich onder invloed van het belichten van een deel van het netvlies in het geheele oog een potentiaalverdeling instelt, moeten wij verwachten, dat actiestroomen ook zullen optreden, wanneer bij het meten één der electroden op het netvlies *naast* de belichte plaats wordt aangebracht.

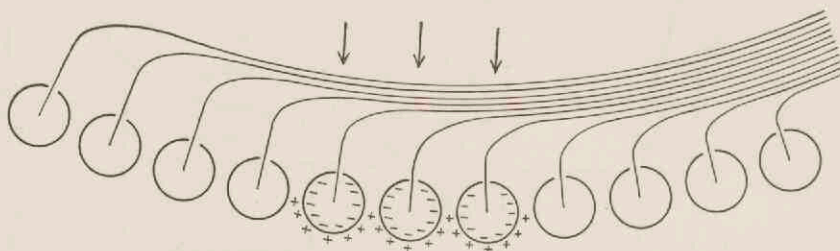


Fig. 47. Schematische voorstelling van de photoëlectrische verschijnselen in het netvlies. Eerste stadium: het ontstaan van de ladingsverdeling nabij de belichte elementen.

FRÖHLICH verrichtte hierover metingen aan inktvischoogen. Hij plaatste één der electroden op verschillende afstanden van de belichte plaats op het netvlies, en vond sterke, voor grooteren afstand allengs geringere, actiestroomen. Dit schreef hij toe aan de werking van het verstrooide licht. De verstrooiing is echter niet sterk genoeg om daaruit het gevonden effect te kunnen verklaren (KOHLRAUSCH).

Nemen wij daarentegen aan, dat hier de potentiaalverdeling in het netvlies gemeten werd, dan worden zijn resultaten geheel begrijpelijk. In Fig. 46 vindt men eenige van zijn metingen weergegeven tezamen met de curven welke het verband tusschen de verblinding en de hoek van verblinding aangeven. Men ziet, dat deze verschijnselen op dezelfde wijze van de hoek afhangen.

Trachten wij thans het beeld van de verschijnselen, die zich bij de belichting in het netvlies afspelen, nader te preciseeren. Ik wil daartoe aannemen, dat zich een kegeltje onder invloed der belichting

negatief oplaadt en daarbij omgeven wordt door een laag van positieve ladingen (Fig. 47). Hierdoor ontstaat een potentiaalverschil aan den wand van het kegeltje, waardoor een momentane gevoeligheidsvermindering (α -adaptatie) veroorzaakt wordt.

De negatieve lading zal door de zenuw wegvloeien en tot de gezichtsgewaarwording aanleiding geven (Fig. 48). De stroomkring sluit zich nu, doordat de positieve ionen zich vanuit de belichte plaats naar de omgeving bewegen. Zodoende komt in het oog een potentiaalverdeling tot stand, waardoor ook de (geïsoleerd gedachte) kegeltjes in de omgeving onder een zekere potentiaal komen te staan. Voor deze treedt daarmee eveneens een gevoeligheidsvermindering op.

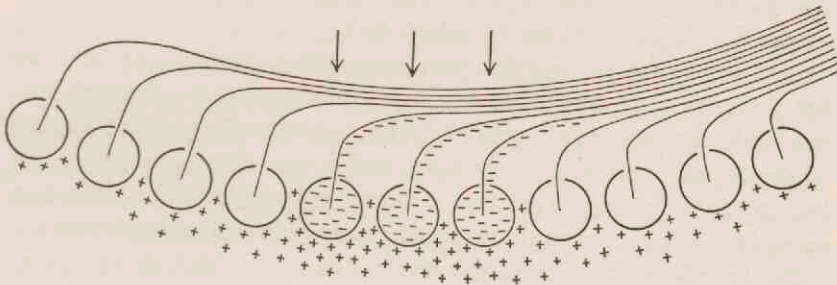


Fig. 48. Schematische voorstelling van de photoëlectrische verschijnselen in het netvlies. Tweede stadium: de elementen worden ontladen door de zenuwen (gezichtsgewaarwording), de stroomkring wordt gesloten door het geheele oog, waardoor de naburige elementen onder een zekere potentiaal komen te staan (α -adaptatie).

Wij hebben in hoofdstuk III gezien, dat de α - en de β -adaptatie in zeer nauw verband met elkaar staan. Denkt men zich de α -adaptatie dus als van electrischen aard, dan rijst de vraag, of ook de β -adaptatie op een werking van secundaire electrische verschijnselen terug te voeren zou zijn. Ik heb daartoe nagegaan, in hoeverre na electrische doorstrooming van het oog (één electrode op een ooglid, de andere in den mond, stroomsterkte 4 m A) een nawerking van de gevoeligheidsvermindering, respectievelijk van de lichtge-
waarwording viel te constateeren.

Was het ooglid negatief, dan trad tijdens de doorstrooming een

gevoeligheidsvermindering op. Na de doorstrooming echter was in stede van een nawerkende vermindering der gevoeligheid slechts een, eenige seconden durende, blauwe lichtgewaarwording merkbaar. Was het ooglid positief, dan trad tijdens de doorstrooming een blauwachtig, allengs minder uitgesproken, lichtverschijnsel op. Na de doorstrooming viel nu geen lichtverschijnsel doch slechts een, eenige seconden durende, gevoeligheidsvermindering te constateeren.

Dit beteekent dus, dat bij electriche doorstrooming van het netvlies twee processen optreden. Het tweede proces is, wat de uitwerking op de lichtgewaarwording betreft, aan het eerste tegengesteld. Na afloop van de doorstrooming duurt dit proces nog eenige seconden voort.

Deze proef bewijst, dat het secundaire proces bij de electriche doorstrooming van het oog van anderen aard is dan het secundair proces bij de verblinding (β -adaptatie).

Het eerste heeft namelijk een uitwerking, welke aan die van het primaire proces tegengesteld is (primair proces: gevoeligheidsvermindering, secundair proces: lichtgewaarwording). Het tweede daarentegen heeft een uitwerking welke van denzelfden aard als het primaire proces (primair proces: gevoeligheidsvermindering, secundair proces: langer nawerkende gevoeligheidsvermindering).

Bij de gekozen plaatsing der electroden spelen zich de verschijnselen van lichtgewaarwording resp. gevoeligheidsvermindering hoofdzakelijk in het centrale deel van het gezichtsveld af. De fovea neemt dus ook wat de electriche verschijnselen betreft een bijzondere plaats in.

Tot nu toe heb ik het netvlies beschouwd als een verzameling elementen, welke van elkaar en van het medium waarin zij zich bevinden electriche geïsoleerd zijn. Deze elementen zouden, wat de gevoeligheid betreft, een werking op elkaar uitoefenen, doordat zich onder invloed van een photostroom, die in eenige elementen teweeg wordt gebracht, in het geheele oog een zekere potentiaalverdeeling instelt. Wij moeten echter bedenken, dat zich in het netvlies ook verbindingscellen, de z.g. horizontale cellen bevinden. Deze zouden dus eveneens een wederzijdsche beïnvloeding der verschillende elementen kunnen bewerkstelligen. Het optreden van een potentiaalverdeeling kan niet verklaren, dat zich een gevoeligheidsvermindering voor verschillende kleuren over het geheele netvlies instelt.

Voor een verklaring van dit verschijnsel zouden deze horizontale cellen in aanmerking komen.

Ten slotte wil ik wijzen op de verschijnselen van verminderde gevoeligheid, traagheid en vermoeidheid zooals die bij Becquerel-effect en inwendig photo-effect optreden. Reeds de onderzoekingen van GOLDMANN aan vloeistofcellen brachten resultaten, welke een merkwaardige analogie met de vermoeidheidsverschijnselen van het oog vertoonen. Reeds op grond daarvan zou het zin hebben, de werking van licht op het oog als een inwendig photo-effect op te vatten.

§ 29. De rol van blauwe verschijnselen bij het zien.

Ik heb verband gelegd tusschen de gevoeligheidsvermindering van het netvlies zooals die zoowel onder invloed van licht, als onder invloed van electriche doorstroming van het oog in bepaalde richting, optreedt. Wij moeten nu echter verwachten dat zich, bij voorbeeld onder invloed van een speciale verlichtingsomstandigheid, ook potentiaalverschillen van *tegengesteld* teeken aan het netvlies kunnen voordoen. Deze zouden dan een lichtgewaarwording teweeg moeten brengen. Daar de lichtgewaarwording bij electriche doorstroming van het oog blauw tot violet getint is, zouden wij omgekeerd een blauwe kleur van in het oog optredende verschijnselen zoo niet als bewijs, dan toch als aanwijzing voor den electriche oorsprong hiervan mogen beschouwen. In dit verband is het buitengewoon merkwaardig te bedenken, dat in vrijwel alle aspecten van het zien het blauw of violet een uitzonderlijke rol speelt.

Ik wil hiervan in het kort eenige voorbeelden noemen.

1. *Het secundaire en het tertiaire nabeeld.*

Deze beide nabeelden, die na korte lichtflitsen optreden, zijn voor wit licht blauw of violet getint. Een puntvormige lichtbron geeft blauwe schijf- en cirkelvormige nabeelden. Misschien zijn deze niet anders dan het secundaire en tertiaire nabeeld van het verstrooiingswaas, de mogelijkheid bestaat echter, dat deze veroorzaakt worden door een beïnvloeden der netvlieselementen.

2. *Het blauwe lichtverschijnsel bij natriumverlichting (BOUMA).*

Bij geschikt gekozen verlichtingssterkte van een wit object worden zwarte openingen daarin als blauw gezien. Het verschijnsel verdwijnt momentaan en

volkomen wanneer eenige procenten wit licht bij het natriumlicht gevoegd worden. Evenzoo verdwijnt het momentaan en volkomen bij geschikt gekozen electriche doorstrooming van het oog.

3. *De blauwe hof bij neonlicht.*

Een kleine roode lichtbron (b.v. neonlicht) op donkeren achtergrond ziet men omgeven door een blauwachtig lichtwaas. Ook dit verschijnsel verdwijnt momentaan en volkomen bij geschikt gekozen electriche doorstrooming van het oog.

4. *De blauwe bogen.*

Onder bepaalde omstandigheden worden blauwe bogen van bepaalden vorm in het gezichtsveld waargenomen. Deze worden veroorzaakt door een „overspreken” der zenuwen. Ook het jongste onderzoek (NEWHALL) leverde sterke aanwijzingen voor den electriche oorsprong hiervan op.

5. *Blauwe verschijnselen bij druk op het oog.*

Bij druk op het oog ontstaat naast blindheid een reeks zeer uiteenlopende lichtgebaarwordingen. Wat de kleur betreft spelen hierin de blauwe verschijnselen (blauwe punten, blauw oplichten der bloedvaten) een overwegende rol. Deze blauwe punten verschijnen, wanneer men daarop let, ook onder normale omstandigheden, spontaan in het gezichtsveld.

6. *De violet-gevoeligheid.*

Van de drie elementaire kleurgevoeligheden waaruit de ooggevoeligheidscurve is samengesteld, draagt de violet-gevoeligheid slechts $1\frac{1}{2}$ % tot de totale ooggevoeligheid bij. Dit is dus een onevenredig klein gedeelte.

De roode resp. groene elementaire gevoeligheid ontbreekt dikwijls (erfelijke protanopie resp. deuteranopie), de violette elementaire gevoeligheid daarentegen ontbreekt slechts zeer zelden.

7. *Het sterke adaptatie-effect voor blauw licht bij diasclerale belichting. (§ 9).*

Wij zien hieruit, hoezeer het blauw of violet bij het zien een uitzonderlijke rol speelt. Ook WRIGHT vermeldde eenige anomalieën in het herstel der gevoeligheid bij gebruik van blauw licht. Wij mogen, zooals ik reeds vermeldde, aan het optreden van deze verschijnselen geen directe bewijskracht ontleenen voor het bestaan van een electriche oorzaak. Dat echter de bijzondere plaats, die deze verschijnselen bij het zien innemen, een verklaring op electriche grondslag waarschijnlijk maakt, valt niet te betwijfelen.

PERSPECTIEVEN

Het aanvankelijk doel van dit onderzoek was, het wezen der verblinding nader op het spoor te komen. De binoculaire-methode, in het bijzonder toegepast op de indirecte verblinding, bracht hier een reeks van verschijnselen aan het licht, welke geheel onvereinigbaar waren met het simpele beeld van onafhankelijk van elkaar werkende lichtgevoelige elementen. De hypothese van het electrisch karakter dezer verschijnselen bracht niet alleen op ongedwongen wijze een beschrijving der resultaten tot stand, maar sloeg tevens een zoozeer gewenschte brug tusschen de zintuigelijke en de photo-electrische functies van het oog.

Stellen wij ons echter op dit standpunt, dan teekenen zich des te scherper een aantal nog onopgeloste problemen af. Hoe moeten wij verklaren, dat bij langere belichtingstijden het herstel der gevoeligheid steeds langzamer wordt? Hoe moeten wij verklaren, dat de β -adaptatie, die op redelijke gronden als photo-chemisch verschijnsel geduid kan worden, een zoo nauw verband met de α -adaptatie houdt? Hoe moeten wij verklaren, dat de veranderingen in den kleurzin dikwijls een zoo ander karakter dragen dan die in den helderheidszin?

Voor het beantwoorden van deze vraagstukken kan slechts een nader en nauwgezet onderzoek licht verschaffen.

In ieder geval is gebleken hoe weinig het beeld van onafhankelijk van elkaar werkzame lichtgevoelige elementen, welke hun gevoeligheid verliezen of herkrijgen door photo-chemische omzetting en regeneratie, toepasselijk is op de dynamische verschijnselen van het zien.

Wij moeten het *netvlies* opvatten als een onverbreekelijke eenheid, waarin de electrische verschijnselen een belangrijke primaire rol spelen. Wij moeten het *gezichtproces* opvatten als een aaneenscha-

keling van verschillende fasen, waarbij de primaire werking van phase tot phase wordt veranderd en doorgegeven. Wij moeten tenslotte de *gezichtsgewaarwording* opvatten als de uiteindelijk resulterende werking van deze samenhangende processen en als één van de vele uitingen van wat zich in het netvlies onder invloed der belichting afspeelt.

De binoculaire compensatie-methode, zooals ze door WRIGHT voor de directe verblinding en in dit proefschrift ook voor de indirecte verblinding is gebruikt, beteekent een nieuw en machtig hulpmiddel, om deze veelheid van verschijnselen op het spoor te komen en tot voorwerp van experimenteele studie te maken. De mogelijkheden die dit hulpmiddel biedt, zijn in dit proefschrift veel meer aangeduid dan uitgeput. Een volledig gebruik hiervan zal ons wellicht een belangrijke schrede nader brengen tot het uiteindelijke doel: *het ontdekken en formuleeren van de grondbeginselen der visio-dynamica.*

SUMMARY

The object of the thesis was, to investigate the mechanism by which the visual impression of the foveal and of the parafoveal part of the retina is affected by the presence of other light sources in the field of vision. In § 2 (Fig. 1) an enumeration is given of the 6 principal possibilities by which the foveal perception of light may be affected. Three of these (II, III and V) cause an additional amount of light to fall on the fovea, the other three (I, IV and VI) cause a change in the sensitivity of the fovea.

The binocular method, as described by WRIGHT, is used throughout the experiments. The application of the method has been considerably extended by an experimental arrangement in which the test objects did not coincide in the field of vision with the adapting light source (indirect blinding).

For indirect blinding it thus becomes possible to take measurements of the state of adaptation both during the time of exposure and during the time of recovery.

The right eye (Fig. 2 and 4) is exposed to the light source *L*. It sees the *test object P*, the left eye only seeing the *object of comparison V*. The experimenter is able to match the brightness of the two objects by moving lamp *B*.

As soon as the eye is exposed to *L*, the brightness of *P* diminishes considerably (Fig. 5). It quickly recovers after a short time of exposure τ . After longer times of exposure it recovers more slowly. This sudden diminution in brightness of object *P* proves that the influence of components I, IV and VI (adaptive influences) is of much greater importance than II, III and V (additional brightness).

The process causing the sudden fall and rise of the sensitivity is named α -adaptation, the process causing the slow recovery after longer times of exposure β -adaptation.

By means of a specially constructed pupillometer (Fig. 7 and 8) the changes in the diameters of the pupils of both eyes were measured. It is shown that the author's pupils change to exactly the same extent and with the same dependence upon the time (Table II—IV, Fig. 9). Thus α -adaptation is *not* an artificial effect caused by a difference in size of the two pupils.

It is proved by measurements in successive contrast of the brightness of diascleral illumination of the retina (component V) that the temporal peripheral part of the retina, when illuminated, causes a sudden depression in the sensitivity of the fovea (component IV, Fig. 10 and 11). It is disproved that the angle of incidence of the re-illumination would cause this adaptation-effect (Fig. 12, Table V) The temporal peripheral part of the retina, which is blind, is hereby proved to be still functioning as an adaptive mechanism (Fig. 13).

The change in the sensitivity of the fovea is measured (§ 10) by the ratio ρ between the intensities of illumination of the two objects, also by the quantity $V = \frac{1}{\rho} - 1$. ρ is (§ 11) independent of the brightness of the objects (law of coefficients, Fig. 14). The other eye shows no detectable change of sensitivity (§ 12, Fig. 15 and 16).

The striking resemblance between α -adaptation and the action potential as well as the phenomena caused by electrical stimulation of the eye suggest that α -adaptation is of electrical origin.

By means of a rotating wheel, provided with adjustable slits (Fig. 3 and 17), the value of ρ is determined during the first tenth of a second (Fig. 18). No time-lag is found between the α -adaptation caused by stimulation of different parts of the retina, having different distances from the fovea (Fig. 21).

In first approximation V is found to be directly proportional to the brightness of the lightsource (Fig. 23 and 24). This law is a generalisation of WRIGHT's relation (ρ inversely proportional to E). V is inversely proportional to the angle φ between the lightsource and the test object.

Considerable attention has been given to measurements of the recovery of the sensitivity after direct, indirect and diascleral blinding. It is very remarkable that the curves obtained are prac-

tically alike for direct and indirect or diascleral blinding.

Both the time of exposure τ and the intensity were varied (Fig. 26—30). For different intensities (Fig. 29 and 30) the curves run practically parallel. This confirms WRIGHT's results. For different times of exposure, however, (Fig. 27 and 30) the slope is a function of the time of exposure up till $\tau = 200$ sec. For the

quantity $\frac{y}{N} = 1 - \rho$ some curious relations are found to hold true,

which finally lead to the equations (5) and (8):

$$y = y_s \frac{\tau}{\tau + t} \text{ and } \frac{dy}{dt} = - \frac{y^2}{y_s \tau}.$$

These equations hold true for high values of y_s . For lower values of y_s a better approximation is given by (5*)

$$\frac{dy}{dt} = - \frac{y^3}{y_s^2 \tau}$$

Theoretical curves are given in Fig. 34.

If the recovery is interpreted as a regeneration of photosensitive substances, this relation implies that the regeneration obeys the laws of a bimolecular reaction (HECHT).

Chapter IV deals with the description of various phenomena viz. the influence on other parts of the retina (Fig. 35—38); the results of stimulation of the blind spot (Fig. 39); some complicated effects observed with light of different colours (Fig. 40) and the influence of secondary adaptation caused by the test object and the object of comparison.

It is very remarkable that, whereas the brightness of the light-source gradually diminishes during the first minute of exposure, the value of ρ continues to be practically constant (Fig. 22 and 42).

Some applications are described in Chapter V. It is shown that the validity of the law of coefficients (Fig. 43) provides no evidence whatever for the existence of a linear relation between stimulus and ultimate response. It only provides evidence for the supposition that the change in ρ is determined in a primary phase of the process of vision, where the response is *still* linear with the stimulus. No conclusion can be drawn, nor any supposition can be made con-

cerning the relation between the response in further phases of the process of vision and the original stimulus.

Glare should not be expressed in terms of veiling-brightness but in terms of ρ or V .

α -adaptation bears a remarkable resemblance (Fig. 45) to the component P_{III} of the action potential (GRANIT) both with regard to its dependence upon the time, as to its inhibitory function.

Special attention is drawn to the perception of blue which can be brought about by electrical stimulation of the eye. Blue plays an exceptional rôle in practically every aspect of vision (§ 29). The fact that electrical stimulation may cause a perception of blue, provides evidence that perhaps a number of these abnormal blue effects may be interpreted as electrical phenomena.

If α -adaptation be of electrical origin (Fig. 47 and 48), the nature of β -adaptation becomes very difficult to understand, because of the close relation which is found to exist between the two.

β -adaptation could hitherto be fairly well interpreted as a photochemical phenomenon. This however cannot account for the close relation existing between β - and α -adaptation. Hence theories based alone on photochemical changes become extremely improbable.

LITERATUUROPGAVE

- ADRIAN, E. D. en R. MATTHEWS, The action of light on the eye. I. The discharge of impulses in the optic nerve and its relation to the electric changes in the retina, *J. Physiol.*, 1927, **63**, 378.
- BARTLEY, S. H. en G. A. FRY, An indirect method for measuring stray light within the human eye, *J. Opt. Soc. Amer.*, 1934, **24**, 342—347.
- BOUMA, P. J., Phenomena of eye fatigue and after images with monochromatic light, *Physica*, 1934, **1**, 429—436.
- BOUMA, P. J., Verblindingsprobleem, *Polytechn. Weekbl.*, 1935, **29**, 625—629.
- BOUMA, P. J., Het verblindingsprobleem bij de wegverlichting, *Philips Techn. Tijdschr.*, 1936, **1**, 225—229.
- BROCA, A. en D. SULZER, La sensation lumineuse en fonction du temps, *J. physiol. et pathol. gén.*, 1902, **4**, 632—640.
- BRÜCKNER, A., Zur Frage der Lokalisation des Kontrastes und verwandten Erscheinungen in der Sehsinnschicht, *Ztschr. Augenh.*, 1917, **38**, 1—14.
- COBB, P. W. en L. R. GEISSLER, The effect on foveal vision of bright surroundings, *Psych. Rev.*, 1913, **20**, 425—447.
- COBB, P. W., The effect on foveal vision of bright surroundings, *Psych. Rev.*, 1914, **21**, 23—32.
- DONDERS, F. C., Die Grenzen des Gesichtsfeldes in Beziehung zu denen der Netzhaut, *Arch. Ophth.*, 1877, **23 I**, 255—280.
- FISCHER, F. P. en J. JONGBLOED, Untersuchungen über die Dunkeladaptation bei herabgesetztem Sauerstoffdruck der Atmungsluft, *Arch. Augenh.*, 1935, **109**, 452—456.
- FRÖHLICH, F. W., Beiträge zur allgemeinen Physiologie der Sinnesorgane, *Zeitschr. Sinnesph.* 1914, **48**, 28—164.
- FRÖHLICH, F. W., Weitere Beiträge zur allgemeinen Physiologie der Sinnesorgane, *Zeitschr. Sinnesph.*, 1914, **48**, 354—438.
- GELDARD, F. A., Flicker relations within the fovea, *J. Opt. Soc. Amer.*, 1934, **24**, 299—302.
- GOLDMANN, A., Lichtelektrische Untersuchungen an Farbstoffzellen, *Ann. Phys.*, 1908, **IV**, **27**, 449—536.
- GRANIT, R., The components of the retinal action potential in mammals and

- their relation to the discharge in the optic nerve, *J. physiol.*, 1933, **77**, 207—239.
- GRANIT, R., Die Elektrophysiologie der Netzhaut und des Sehnerven mit besonderer Berücksichtigung der theoretischen Begründung der Flimmermethode, *Acta Ophth.*, 1936, *Suppl. VIII, vol. XIV*, 1—98.
- GRANIT, R. en P. O. THERMAN, Excitation and Inhibition in the retina and in the optic nerve, *J. physiol.*, 1935, **83**, 359—381.
- HAAS, H. K. DE, Lichtprikkels en retinastroomen in hun quantitatief verband, *Ac. proefschr. Leiden*, 1903.
- HAMAKER, H. G., Over nabebelden, *Ac. proefschr. Utrecht*, 1899.
- HECHT, S., The dark adaptation of the human eye, *J. Gen. Physiol.*, 1920, **2**, 499—517.
- HECHT, S., The nature of foveal dark adaptation *J. Gen. Physiol.*, 1922, **4**, 113—139.
- HELMHOLTZ, H. VON, *Handbuch der physiologischen Optik*, IInde druk, 1896.
- HELSON, H., The effects of direct stimulation of the blind spot, *J. Opt. Soc. Amer.*, 1929, **18**, 446.
- HOLLADAY, L. L., The fundamentals of glare and visibility, *J. Opt. Soc. Amer.*, 1926, **12**, 271—319.
- KOHLRAUSCH, A., Elektrische Erscheinungen am Auge, *Bethes Handb. Norm. Path. Physiol.*, 1931, **XIII/2, II**, 1394—1496.
- KRIES, J. VON, Theoretische Studien über die Umstimmung des Sehorgans, *Festschrift Univ. Freiburg*, 1902, 143—158.
- KRIES, J. VON, *Nagels Handb. Physiol.*, 1905, **3**, 211.
- LOSSAGK, H. Versuche über Adaptationszeiten, *Das Licht*, 1936, **7**, 126—131.
- NEWHALL, S. M., The constancy of the blue arc phenomenon, *J. Opt. Soc. Amer.*, 1937, **27**, 165—176.
- ÖHRWALL, H., Über Zerstreungsillusionen, *Skand. Arch. Physiol.*, 1922, **42**, 104—128.
- ORNSTEIN, L. S. en J. F. SCHOUTEN, De rol van elektrische, photochemische en diffusieverschijnselen bij het zien, *Proc. Kon. Ac. A'dam*, 1937, **40**, 376—382.
- PIPER, H., Über Netzhautströme, *Arch. An. Physiol., Physiol. Abth.* 1911, 85—132.
- SACHS, E., Die Aktionströme des menschlichen Auges, ihre Beziehung zu Reiz und Empfindung, *Klin. Wochenschr.*, 1929, **8**, 136—137.
- SALOMONSON, H., Über Lichtbeugung an Hornhaut und Linse (Regenbogenfarbensehen), *Arch. An. Physiol., Physiol. Abt.*, 1898, 187—238.
- SCHOUTEN, J. F., Zur Analyse der Blendung, *Proc. Kon. Ac. A'dam*, 1934, **37**, 506—516.
- SCHOUTEN, J. F., Eine entoptische Methode zur Bestimmung der spektralen Durchlässigkeit der Augapfelwand, *Proc. Kon. Ac. A'dam*, 1934, **37**, 516—520.
- SCHOUTEN, J. F., Grundlagen einer quantitativen Vierfarbentheorie I, *Proc. Kon. Ac. A'dam*, 1935, **38**, 590—603.

- STILES, W. S. en B. H. CRAWFORD, The luminous efficiency of rays entering the eye pupil at different points, *Proc. Roy. Soc. B*, 1933, **112**, 428—450.
- STILES, W. S. en B. H. CRAWFORD, Luminous efficiency of rays entering the eye pupil at different points, *Nature*, 1937, **139**, 246.
- WEIGEL, R., Zur Frage der Blendung durch Automobilscheinwerfer, *Z. Techn. Phys.*, 1925, **6**, 504—511.
- WIRTH, W., Der Fechner-Helmholtzsche Satz über negative Nachbilder und seine Analogien, *Wundt's Phil. Studien*, 1900, **16**, 465—567; 1901, **17**, 311—430; 1903, **18**, 563—686.
- WRIGHT, W. D., The measurement and analysis of colour adaptation phenomena, *Proc. Roy. Soc. B.*, 1934, **115**, 49—87.
- WRIGHT, W. D., Intensity discrimination and its relation to the adaptation of the eye, *J. Physiol.*, 1935, **83**, 466—477.
- WRIGHT, W. D., The foveal light adaptation process, *Proc. Roy. Soc. B*, 1937, **122**, 220—245.
- WRIGHT, W. D. en J. H. NELSON, A subjective photometer, *J. Sc. Instr.*, 1935, **12**, 373—377.
- WRIGHT, W. D. en J. H. NELSON, The relation between the apparent intensity of a beam of light and the angle at which the beam strikes the retina, *Proc. Phys. Soc.*, 1936, **48**, 401—405.
-

k9397.

INHOUD

	Bladz.
INLEIDING	1
HOOFDSTUK I. DE WERKING VAN LICHT OP HET OOG.	
§ 1. Zien als kettingreactie	3
§ 2. Mogelijke vormen van verblinding	3
§ 3. Mogelijk mechanisme van verblinding	6
§ 4. De binoculaire compensatiemethode	7
HOOFDSTUK II. VOORBEREIDENDE METINGEN.	
§ 5. Apparatuur	10
§ 6. Het meten	13
§ 7. Overzicht van de optredende verschijnselen	14
§ 8. Invloed van de pupilbeweging	17
§ 9. Andere aanwijzingen voor het bestaan van <i>a</i> -adaptatie	22
§ 10. Keuze van de te meten grootte	27
§ 11. Invloed van helderheid en grootte der meetvlakjes	28
§ 12. Invloed op het onbelichte oog	29
§ 13. Werkhypothese over den aard der <i>a</i> -adaptatie	32
HOOFDSTUK III. METINGEN BIJ WIT LICHT.	
§ 14. Het aanloopen van de <i>a</i> -adaptatie	34
§ 15. Het niveau tijdens de indirecte verblinding. Intensiteits- en hoekafhankelijkheid	39
§ 16. Verblinding binnen een ringvormige lichtbron	43
§ 17. Metingen van het herstel	45
§ 18. Discussie der herstelcurven	49
§ 19. De karakteristieke relaties	51

HOOFDSTUK IV. VERDERE METINGEN EN VERSCHIJNSELEN.

§ 20. Invloed van de plaats van fixatie	59
§ 21. De rol van de blinde vlek	63
§ 22. Verschijnselen bij gekleurd licht	65
§ 23. Invloed van de meetvlakjes op de metingen bij wit licht	68
§ 24. Eenige subjectieve verschijnselen bij verblinding met wit licht	72

HOOFDSTUK V. BETEKENIS VAN DE GEVONDEN VERSCHIJNSELEN.

§ 25. De coëfficiëntenwet	74
§ 26. Verblinding	77
§ 27. Het roosterverschijnsel	78
§ 28. De electriche verschijnselen bij belichten van het oog	79
§ 29. De rol van blauwe verschijnselen bij het zien . .	85
PERSPECTIEVEN	87
SUMMARY.	89
LITERATUUROPGAVE	93

STELLINGEN

I.

De apparaatkromme van het étalon van FABRY en PÉROT valt experimenteel te bepalen.

II.

Het is in principe mogelijk een „microscoop” te construeeren, dat structuren oplost, welke fijner zijn dan de golflengte van het gebruikte licht.

III.

De elektrische as van het normale hart draait gedurende het kamercomplex gelijkmatig over een hoek van 270° in een vlak loodrecht op het frontale vlak.

IV.

Aan personen, die nachtblind zijn, behoort de bevoegdheid om een motorrijtuig bij avond te besturen te worden ontnomen c.q. niet te worden verleend.

V.

De van normale trichromaten afwijkende elementaire gevoeligheidscurve is voor protanomalen en deuteranomalen identiek.

VI.

Zien is een doelmatig aftappen van zich in het netvlies, vrijwel onafhankelijk daarvan, afspelende verschijnselen.

VII.

Het uitdrukken van verblindings in aequivalente sluiierhelderheid is principieel onjuist.

VIII.

Een ervaren automobilist zal de overgang tusschen een recht en een cirkelvormig weggedeelte berijden volgens een spiraal van CORNU. Hierdoor wordt aan het begin en aan het einde van een binnenbocht een afwijking naar het midden van den weg veroorzaakt.



Ut
19