



Physiologisch-optische beschouwingen betreffende de visueele beoordeling van Röntgenphotogrammen

<https://hdl.handle.net/1874/359652>

A. qu. 192, 1942

**PHYSIOLOGISCH-OPTISCHE BESCHOUWINGEN
BETREFFENDE DE VISUEELE BEOORDEELING VAN
RÖNTGENPHOTOGRAMMEN**

J. TEN DOESSCHATE

UNIVERSITEITSBIBLIOTHEEK UTRECHT



3794 0412

Diss Utrecht 1942

PHYSIOLOGISCH-OPTISCHE BESCHOUWINGEN BETREFFENDE DE VISUEELE BEOORDEELING VAN RÖNTGENPHOTOGRAMMEN

PROEFSCHRIFT

TER VERKRIJGING VAN DEN GRAAD VAN DOCTOR
IN DE GENEESKUNDE AAN DE RIJKS-UNIVERSITEIT
TE UTRECHT, OP GEZAG VAN DEN WAARNEMEN-
DEN RECTOR-MAGNIFICUS L. VAN VUUREN, HOOG-
LEERAAR IN DE FACULTEIT DER LETTEREN, EN
WIJSBEGEERTE, VOLGENS BESLUIT VAN DEN
SENAAT DER UNIVERSITEIT TEGEN DE BEDEN-
KINGEN VAN DE FACULTEIT DER GENEESKUNDE
TE VERDEDIGEN OP DINSDAG 7 JULI 1942, DES
NAMIDDAGS TE 4 UUR

DOOR

JURRIAAN TEN DOESSCHATE

ARTS

GEBOREN TE UTRECHT

1942

DRUKKERIJ Fa. SCHOTANUS & JENS — UTRECHT

2



Aan mijn Ouders.

Aan mijn Vrouw.

VOORWOORD.

De voltooiing van dit proefschrift biedt mij de gelegenheid U, Hooggeleerden, Oud-Hooggeleerden en overige Docenten van de Geneeskundige en Natuurphilosophische Faculteit dank te brengen voor het van U genoten onderwijs.

Deze dank geldt wel in de eerste plaats U, Hooggeleerde WEVE, Hooggeachte Promotor. Allen, die het voorrecht hebben gehad onder Uw voortreffelijke leiding in Uw fraaie kliniek tot oogarts te worden opgeleid, waardeeren dit voorrecht in de hoogste mate. Zeer in het bijzonder wil ik U hier echter mijn dank betuigen voor de hartelijke wijze, waarop Gij mijn familie en mij steeds in moeilijke omstandigheden Uw hulp hebt geboden. Weest U ervan overtuigd, dat ik hieraan altijd een dankbare herinnering zal bewaren.

In dankbaarheid gedenk ik mijn helaas overleden leermeester NOYONS, die mijn eerste schreden op het pad der physiologie leidde.

Hooggeleerde BOEKE, Voor de gelegenheid, die Gij mij hebt geschonken als student in Uw laboratorium een deel van een onderzoek te verrichten en voor Uw persoonlijke belangstelling daarbij ben ik U zeer dankbaar. Ik hoop nog eens in de gelegenheid te zijn U de resultaten van dit door omstandigheden niet voltooide onderzoek voor te leggen.

U, Hooggeleerde JONGBLOED ben ik veel dank verschuldigd voor alles, wat ik onder Uw leiding heb geleerd en voor de welwillende wijze, waarop Gij mij een aantal instrumenten uit Uw laboratorium voor de bewerking van dit proefschrift ter beschikking hebt gesteld.

Zeergeleerde BRONKHORST, Den dag waarop ik het geluk heb gehad met U kennis te maken zal ik steeds als een mijlpaal op den weg van mijn ontwikkeling blijven beschouwen. De besprekingen met U hebben niet alleen geleid tot het tot stand komen van dit proefschrift, maar hebben tevens mijn sluimerende belangstelling voor problemen betreffende het zien doen ontwaken. Uw persoonlijkheid en de grondige wijze, waarop Gij zeer moeilijke problemen tracht te benaderen zullen voor mij steeds een lichtend voorbeeld zijn.

Het is mij helaas niet mogelijk allen afzonderlijk dank te brengen, die mijn wetenschappelijke belangstelling hebben beïnvloed. Moge een ieder van hen dezen dank als aan hem persoonlijk gericht beschouwen.

Oud-assistenten en assistenten van het Nederlandsch Gasthuis voor Ooglijders. Een van de redenen, waarom ik het betreur, dat het einde van mijn assistentschap gekomen is, is het feit, dat mij hierdoor het genoegen wordt ontnomen met U in den zeer vriendschappelijken en collegialen geest, die in het Gasthuis heerscht, samen te mogen werken. Ik ben er echter van overtuigd, dat de vriendschap, die ons verbindt een blijvende zal zijn.

Hooggeachte Mejuffrouw VAN THIENEN. Voor het geduld en de vriendelijke

toewijding, waarmede U mij bij vaak zeer vermoeiende en langdurige experimenten behulpzaam bent geweest, ben ik U zeer dankbaar.

Ook U, Hooggeachte Mejuffrouw CREMER dank ik voor de hulp, die Gij mij bij verschillende gelegenheden hebt willen verleen.

Hooggeachte Adjunct-Directrice, Hoofd-Verpleegsters en overig verplegend personeel. Aan de goede verstandhouding, die tusschen U en mij gedurende mijn assistententijd heeft bestaan zal ik steeds een aangename herinnering blijven behouden.

Waarde VAN BERKEL, Voor de technische hulp, die Gij mij steeds weer hebt willen bieden, ben ik U zeer erkentelijk.

Waarde SCHÜTZ, Het toeval heeft het zoo gewild, dat Uw en mijn afscheid van het Gasthuis ongeveer samenvallen. Alle ingewijden weten, dat met U het Gasthuis een traditie verliest, die niet te herstellen is. Ik wensch U een lange rij van gelukkige jaren.

Waarde GRONDIJS. Voor Uw hulp bij verschillende gelegenheden ben ik U zeer erkentelijk. Ik betreur het dan ook zeer, dat Uw drukke werkzaamheden het U onmogelijk maakten de teekeningen voor dit proefschrift te vervaardigen.

Gelukkig vond ik U, waarde GERRIT RIETVELD bereid dezen arbeid te verrichten, waarvoor ik U hartelijk dank.

Tenslotte wil ik allen, die op eenigerlei wijze tot het tot stand komen van dit proefschrift hebben bijgedragen hier mijn hartelijken dank betuigen.

INHOUD.

HOOFDSTUK I. ALGEMEENE INLEIDING	9
§ 1. Inleiding	9
§ 2. Probleemstelling	9
§ 3. Voorloopige analyse	16
§ 4. Objectieve helderheidseenheden	24
§ 5. Samenvatting van het in dit hoofdstuk behandelde. Plan voor verdere analyse.	29
HOOFDSTUK II. ONDERSCHIEDINGSDREMPEL: ALGEMEENE BESCHOUWINGEN	31
§ 1. Factoren, waardoor de gevoeligheid van het gezichtszintuig, bepaald met behulp van metingen van den onderscheidingsdrempel wordt beheerscht	31
§ 2. Literatuur betreffende den invloed van deze factoren	39
§ 3. Pogingen tot mathematische interpretatie van de experimenteele resultaten.	54
§ 4. Slotbeschouwing	57
HOOFDSTUK III. ONDERSCHIEDINGSDREMPEL: EIGEN EXPERIMENTEN	59
§ 1. Principe der methode	59
§ 2. Methodiek	60
§ 3. Invloed van de uitgangshelderheid B	67
§ 4. Invloed van den gezichtshoek, waaronder het element (B') wordt waargenomen	71
§ 5. Invloed van den adaptatietoestand van het gezichtsorgaan	73
§ 6. Critische beschouwing van de resultaten aan de hand van de literatuur	82
§ 7. Slotbeschouwing	87
HOOFDSTUK IV. UITWERKING VAN HET PROBLEEM	88
§ 1. Inleiding	88
§ 2. De gezichtsscherpte	89
§ 3. Het instellen van subjectief even groote helderheidstrappen	97
§ 4. Toepassing van het hiervoor behandelde op het door ons gestelde probleem.	103
§ 5. Practische consequenties	109
§ 6. De Röntgendoorlichting	116
§ 7. Slotbeschouwing	117
SAMENVATTING	118
ZUSAMMENFASSUNG	121
SUMMARY	124
LITERATUUR	127

HOOFDSTUK I.

ALGEMEENE INLEIDING.

Inleiding; Probleemstelling; Voorloopige analyse; Objectieve helderheidseenheden; Samenvatting van het in dit hoofdstuk behandelde en plan voor verdere analyse.

§ 1. *Inleiding.*

De hier volgende beschouwingen en experimenten hebben hun ontstaan te danken aan een omvangrijk probleem, waarmede Dr. Bronkhorst zich bezig houdt en dat er toe leidde, dat deze zich in den zomer van 1940 tot Prof. Weve wendde ter verkrijging van eenige inlichtingen. Bij de naar aanleiding hiervan gevoerde besprekingen bleek spoedig, dat de physiologisch-optische literatuur aangaande den lichtzin niet toereikend is voor een beantwoording van alle door Dr. Bronkhorst gestelde vragen.

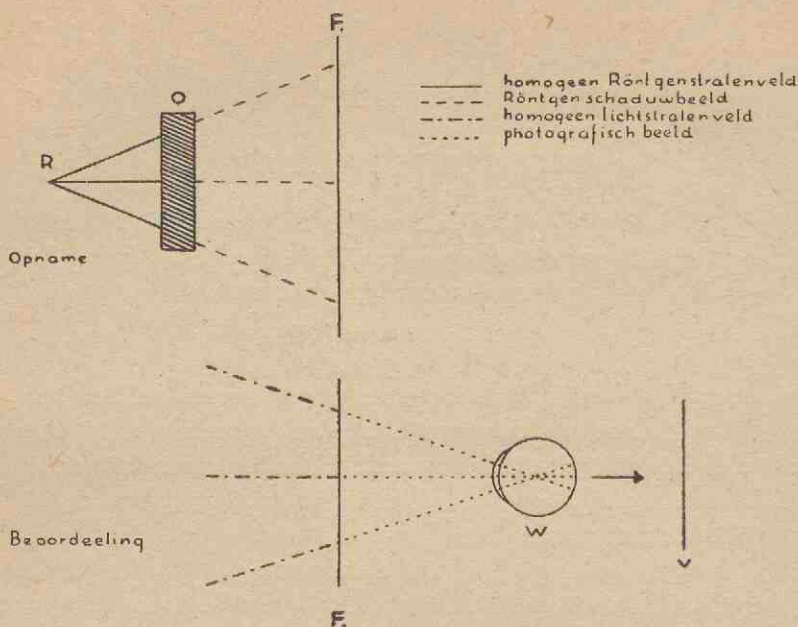
Aanvankelijk bestond nu het voornemen het geheele probleem van Dr. Bronkhorst als onderwerp van dit proefschrift te kiezen. Reeds spoedig bleek echter, dat een analyse van de eenvoudigste onderdeelen van dit probleem reeds zeer uitgebreid wordt, zoodat het verstandiger lijkt deze elementaire feiten in den vorm van een proefschrift te bewerken, in de hoop dat zich nog eens een gelegenheid zal voordoen terug te komen op het probleem in zijn vollen omvang, waarbij misschien de hier volgende beschouwingen van eenig nut zullen blijken te zijn.

§ 2. *Probleemstelling.*

Alvorens het probleem te stellen in den oorspronkelijken tekst, waarin het door Dr. Bronkhorst aan ons werd voorgelegd, meenen wij goed te doen eenige beschouwingen te laten voorafgaan, waarin we ons zullen afvragen, hoe het Röntgenographisch onderzoek van menschenlijke (of dierlijke) organen wordt uitgevoerd en welke fasen we tijdens dit onderzoek kunnen onderscheiden:

Het te onderzoeken *anatomisch object* O (zie fig. 1) wordt geplaatst in een homogeen Röntgenstralenveld, dat wordt uitgezonden door een

stralingsbron R, die in het algemeen een zekere uitgebreidheid heeft, maar die we in onze figuur als puntvormig willen beschouwen.



Figuur 1

Na het doortreden van de stralen door het object O is het Röntgenstralenveld in het algemeen niet meer homogeen, ten gevolge van het feit, dat de absorptie en de strooiing van de Röntgenstralen in verschillende deelen van het object verschillend zal zijn. Voor dit na doortreding door het object ontstane gewijzigde Röntgenstralenveld wordt dikwijls de naam Röntgenstralenrelief gebruikt. Dr. Br o n k h o r s t stelt voor deze onduidelijke uitdrukking te vervangen door het woord *Röntgenshaduwbeeld*.

De eigenschappen van het Röntgenshaduwbeeld worden door zuiver fysische eigenschappen bepaald, d.w.z. indien het object wat Röntgenologische samenstelling betreft (dus wat betreft zijn absorptieve en strooiende eigenschappen) geheel gedefinieerd is en de eigenschappen van het op het object inwerkende Röntgenstralenveld volkomen bekend zijn, kunnen we uit deze gegevens onder toepassing van de wetten der centrale projectie het Röntgenshaduwbeeld volledig voorspellen.

Bij het Röntgenphotographisch onderzoek wordt nu dit Röntgenshaduwbeeld opgevangen op een voor Röntgenstralen gevoelige emulsie.

Indien deze emulsie na ontwikkeld te zijn (F_2) wordt gebracht in een homogeen lichtstralenveld blijkt het, dat ze in het algemeen eigenschappen heeft verkregen, waardoor het lichtstralenveld na doortreding door de emulsie niet meer homogeen is. Dit gewijzigde lichtstralenveld kunnen we nu beschouwen als het *photographisch beeld*.

Ook van dit photographisch beeld worden de eigenschappen door zuiver physische (eventueel chemische) eigenschappen bepaald en wel hoofdzakelijk door de photochemische eigenschappen van de gevoelige emulsie.¹⁾

Het photographische beeld vertoont kwalitatief groote gelijkenis met het Röntgenshaduwbeeld, indien we abstraheeren van het feit, dat het beeld „negatief” is, d.w.z. dat plaatsen, die in het Röntgenshaduwbeeld overeenkomen met een hooge intensiteit van de Röntgenstralen in het photographische beeld overeenkomen met een lage intensiteit der lichtstralen en omgekeerd. (In het algemeen neemt de Röntgenoloog met dit negatieve beeld genoegen. Eventueel is het beeld door eenvoudige copieering gemakkelijk positief te maken). Quantitatief zijn Röntgenshaduwbeeld en Röntgenphotographisch beeld niet zonder meer vergelijkbaar. Voor een dergelijke vergelijking is het noodig de zoogenaamde zwartingseigenschappen van de gebruikte emulsie te kennen.

De zwarting S van een emulsie is een functie van de intensiteit van de op de emulsie vallende lichtenergie en de energie van het door de film doorgelaten licht. Deze functie wordt weergegeven door de formule:

$$S = \log I/I' = \log I - \log I'$$

waarin S = zwarting in zwartingseenheden,

I = energie opvallend licht en

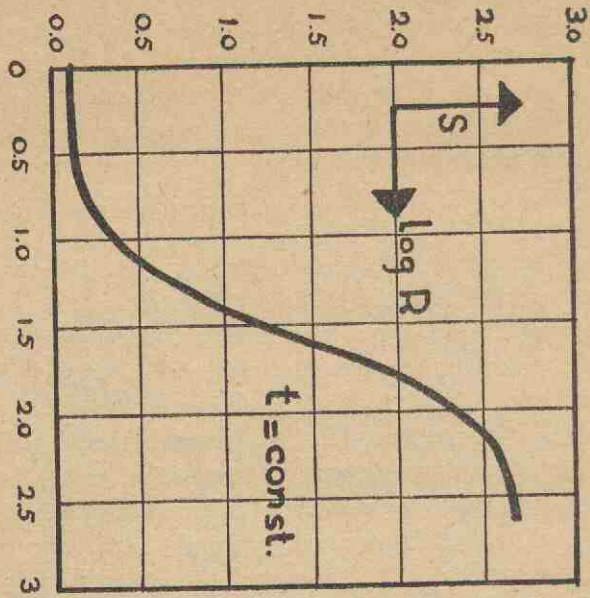
I' = energie doorgelaten licht.

De zwarting van een film als functie van de energie van de Röntgenstralen, die op die film hebben ingewerkt is niet zoo eenvoudig weer te geven. Het beste is deze functie te begrijpen uit een schematische curve, die wij ontleenen aan een artikel van Eggert, Franke en Luft (45) (fig. 2 a).

In deze curve is op de abscis uitgezet de logarithme van de intensiteit van de Röntgenstralen, die gedurende een constanten tijd t op de emulsie hebben ingewerkt en op de ordinaat de hierdoor ontstane zwarting S .

¹⁾ Bij de Röntgendoorlichting worden de Röntgenstralen met behulp van een fluorescentiescherm direct in zichtbare lichtstralen omgezet. Aan deze mogelijkheid zal in hoofdstuk IV nog eenige aandacht worden besteed.

half schematisch

**a**

geheel schematisch

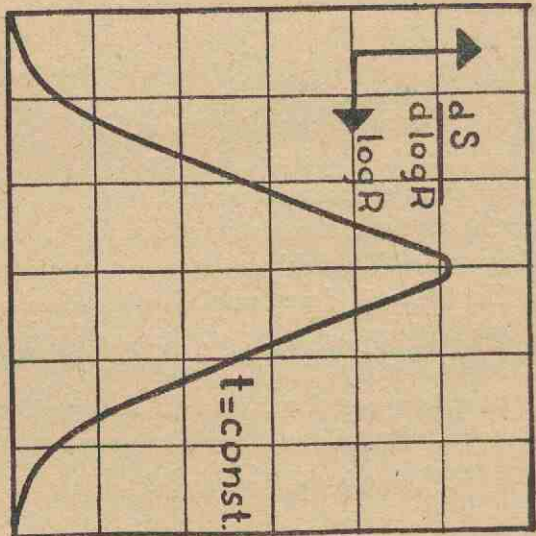
**b**

Fig. 2.

- a. De zwaarting als functie van de energie der opvallende Röntgenstralen.
 b. De gevoeligheid als functie van de energie der opvallende Röntgenstralen.

Men ziet hoe met de toename van $\log R$ de zwarting aanvankelijk langzaam, daarna sneller en tenslotte weer langzamer toeneemt.

In het steile middenstuk is de curve bij benadering een rechte lijn, waardoor men kan zeggen dat in dit gebied de zwarting recht evenredig is met de logarithme van de energie der Röntgenstralen.

Belangrijker dan de absolute waarde van de zwarting is voor ons de beoordeeling van de gevoeligheid van de emulsie. De gevoeligheid van de emulsie wordt bepaald door de mate, waarin de zwarting toeneemt voor een zekere toename van $\log R$.

Deze gevoeligheid wordt aangegeven door de steilheid van de zwartingscurve in ieder punt. We kunnen deze voor ieder punt van de curve bepalen door de raaklijn aan de curve te trekken en de hoek te bepalen, die deze raaklijn met de abscis maakt. De tangens van deze hoek geeft ons nu een maat voor de gevoeligheid in dit gebied van de curve.

De gevoeligheid is dus het grootst in het midden van het steile middenstuk. Immers in dit gebied zal voor een zekere toename van S (ΔS) de toename van $\log R$ (ΔR) het kleinste zijn. In fig. 2 b geven we nu de uit de schematische zwartingscurve afgeleide schematische gevoeligheidscurve. Het is duidelijk, dat deze curve een top te zien geeft.

Over de plaats van dit maximum zal in hoofdstuk IV nog nader worden gesproken.

Meer exact is dit alles in mathematischen vorm weer te geven:

Noemen we de betrekking, die S met $\log R$ verbindt (fig. 2 a)

$$S = f(\log R)$$

dan kan de gevoeligheid van de emulsie worden weergegeven door het eerste differentiaalquotient van deze functie:

$$\text{Gevoeligheid} = f'(\log R) = \frac{dS}{d \log R}$$

De grootste gevoeligheid van de film wordt bereikt voor

$$\left(\frac{dS}{d \log R} \right)_{\max.}$$

Samenvattend willen we dus nog eens herhalen, dat het photographisch beeld op zuiver fysische wijze afhankelijk is van het Röntgenschaduwbeeld, dat op zijn beurt weer op zuiver fysische wijze afhankelijk is van de eigenschappen van het object en van het op dat object invallende Röntgenstralenveld.

In principe zou het nu mogelijk zijn het photographisch beeld geheel langs physischen weg tot onze kennis te brengen. We zouden bijvoorbeeld met behulp van een photoelectrische cel het geheele photographische beeld kunnen doormeten en op die wijze de eigenschappen van dit beeld in curven weergeven.

In het algemeen volgt men echter een andere weg en wel de *visuele* beoordeeling van het photographisch beeld. Het photographisch beeld (zie fig. 1) wordt dus aangeboden aan het gezichtsorgaan van den onderzoeker W in wiens bewustzijn daardoor het *visuele beeld* V ontstaat. Hiermede treedt nu een groote reeks van nieuwe betrekkingen op, die in tegenstelling tot wat we hiervoor zagen voor het grootste deel niet van physische, maar van veel minder goed te analyseeren physiologischen en van nog moeilijker te definieeren psychologischen aard zijn.

De Röntgenoloog heeft nu tot taak uit dit visuele beeld de eigenschappen van het anatomisch object zoo nauwkeurig mogelijk te reconstrueeren.

Na deze korte inleiding laten we thans een klein gedeelte volgen van de oorspronkelijke tekst, waarin Dr. Bronkhorst ons zijn probleem voorlegde:

„De Röntgenographie heeft ten doel ons een inzicht te verschaffen in (pathologisch) anatomisch gedefinieerde kenmerken van een lichaamsdeel (anatomisch object), op grond van het visuele beeld der gelijkmatig doorlichte Röntgenfoto.

De herleiding van *visueel beeld* tot *anatomisch object* is een zeer gecompliceerd probleem, dat systematisch opgelost moet worden. Het veronderstelt een reeks bekende relaties, die onderscheiden kunnen worden in de relaties van:

1. Visueel beeld tot photographisch beeld.
2. Photographisch beeld tot Röntgenschaduwbeeld.
3. Röntgenschaduwbeeld tot Röntgenologisch gedefinieerde samenstelling van het object.
4. Röntgenologisch gedefinieerd object tot anatomisch gedefinieerd object.

Men meene niet, dat deze onderscheiding alleen theoretisch is. Uiteraard zal degene, die dagelijks Röntgenfoto's beoordeelt zich niet steeds rekenschap geven van elke phase in deze reeks van herleidingen, omdat hij zijn methodiek genormaliseerd heeft en door het constant houden

van vele factoren, die deze relaties beïnvloeden, vereenvoudiging heeft aangebracht, waardoor in de dagelijksche practijk „kortsluitingen” mogelijk zijn. Dit neemt niet weg, dat zelfs in de dagelijksche practijk de bovengenoemde phasen in de herleiding terdege in acht genomen worden, *al doen wij dit zelden bewust*, zeer in het bijzonder geldt dit voor de relatie tusschen visueel beeld en photographisch beeld. Toch geven wij ons wel degelijk rekenschap van deze relatie, resp. van de factoren die haar bepalen, maar wij doen dit veelal ondoordacht, op grond van de ervaring. Wij mogen ons daarover niet verwonderen, omdat wij van kind af de relatie tusschen de gezichtswaarneming en het waargenomene empirisch hebben leeren bepalen en daarmee uitkomen, maar dat neemt niet weg, dat ons oordeel over deze betrekking aanmerkelijk verhelderd wordt en het voor de dagelijksche practijk voordeel oplevert, als wij ons *bewust* rekenschap geven van deze betrekking.

Doordachte ervaringen zijn nu eenmaal meer waard dan ondoordachte.

Een *bewuste* herleiding via de hier genoemde relaties veronderstelt een nauwkeurige kennis van wetmatigheden op geheel verschillend gebied:

Relatie 4: De interpretatie eischt een veelzijdig inzicht in de anatomische en overeenkomstige Röntgenologische kenmerken bij normale en pathologische toestanden.

Relatie 3: De verhouding van object tot Röntgenshaduwbeeld wordt beheerscht door de wetten der Röntgenstralenabsorptie (en -verstrooiing) en de wetten der centrale projectie.

Relatie 2: De verhouding van Röntgenshaduwbeeld tot photographisch beeld wordt afgeleid uit de werking der Röntgenstralen op de photographische emulsie (eventueel indirect na omzetting der Röntgenstraling in lichtstraling door een versterkingsfolie).

Relatie 4, 3 en 2 zijn veelzijdig onderzocht resp. door autoptische contrôle der Röntgenologische interpretaties, door het Röntgenphysisch experiment en de Röntgensensitometrie.

Geheel anders staat het met relatie 1:

De verhouding van visueel beeld tot photographisch beeld is tot nu toe nog nooit systematisch onderzocht."

De bedoeling van dit proefschrift is nu, door een elementaire theoretische en experimenteele analyse, iets aangaande deze verhouding te weten te komen.

Ons probleem in zijn meest algemeensten vorm kan dus als volgt worden gesteld:

Welke betrekkingen bestaan tusschen de eigenschappen van het (objectieve) photographische beeld, dat ontstaat door de homogene doorlichting van een Röntgenphotogram en de eigenschappen van het (subjectieve) visueele beeld, dat door de waarneming van dit photographisch beeld in het bewustzijn van den waarnemer ontstaat?

§ 3. Voorloopige analyse.

Ons probleem betreft dus de relaties tusschen photographisch beeld en visueel beeld.

Wij zullen goed doen te beginnen met een afzonderlijke beschouwing van deze beide beelden.

Het photographisch beeld:

Het photographisch beeld ontstaat indien het ontwikkelde photogram wordt geplaatst in een homogeen lichtstralenveld. Meestal wordt dit homogene veld verkregen met behulp van een zoog. lichtkast, waarvan het voornaamste deel bestaat uit een gelijkmatig verlichte plaat, vervaardigd uit een materiaal, dat een sterk diffundeerend vermogen heeft.

De eigenschappen van dit homogene lichtstralenveld zijn volkomen beschreven, indien we daarvan kennen: de oppervlakte, de objectieve helderheid (zie voor het begrip helderheid dit hoofdstuk blz. 24 e.v.) en de energieverdeeling in het spectrum van het licht, dat door de lichtkast wordt uitgestraald.

Door het plaatsen van het photogram in den stralengang van de lichtkast ontstaat in het algemeen een lichtverdeeling, die niet meer homogeen is. Dit niet meer homogene veld van lichtstralen noemen we photographisch beeld. Het niet homogene karakter van dit photographisch beeld ontstaat door het feit, dat de verschillende deelen van het photogram een verschillende zwarting zullen hebben (zie voor het begrip zwarting dit hoofdstuk blz. 11).

Ons inzicht in de eigenschappen van het photographisch beeld kunnen we zeer bevorderen door de invoering van het begrip *beeldelement* een begrip, dat wij ontleenen aan een reeds eerder geciteerd artikel van Eggert, Franke en Luft (45). Wij komen tot dit begrip, indien we ons het photographisch beeld opgebouwd denken uit een aantal in zichzelf besloten gebieden, die gekenmerkt zijn door een gelijkmatige en individueele helderheid. Aangezien echter in een Röntgenfoto groote gebieden zijn, waar de helderheid zich continu wijzigt, moeten we ons begrip beeldelement hier redden, door dergelijke plaatsen opgebouwd te denken uit een oneindig aantal zeer kleine beeldelementen.

Samenvattend kunnen we dus zeggen, dat het photographisch beeld geheel kan worden beschreven indien bekend zijn:

de oppervlakte, de energieverdeeling in het spectrum van het door de foto doorgelaten licht, de ruimtelijke verdeeling en de helderheden van de verschillende beeldelementen.

Het visueele beeld:

Het visueele beeld ontstaat in het bewustzijn van den waarnemer, indien het photographisch beeld (eventueel met een deel van zijn omgeving) inwerkt op het gezichtsorgaan van de waarnemer.

Wij zullen goed doen het visueele beeld opgebouwd te denken uit visueele beeldelementen. Onder een visueel beeldelement verstaan we dan een in zichzelf besloten gebied met gelijkmatige en individueele subjectieve helderheid.

Het visueele beeld kan nu worden beschreven door een aantal zuiver subjectieve kenmerken van zijn beeldelementen en wel:

Subjectieve helderheid.

Subjectieve kleur.

Subjectieve richting.

Relatie tusschen photographisch en visueel beeld:

De vraag welke relaties bestaan tusschen het photographische beeld en het visueele beeld kan beschouwd worden als een onderdeel van een veel algemeener probleem, dat luidt:

Welke relaties bestaan voor den gezichtszin tusschen de eigenschappen van de objectieve en die van de subjectieve werkelijkheid?

Het probleem in dezen vorm gesteld maakt het ons wel duidelijk dat deze relatie wordt beheerscht door een zeer groot aantal factoren.

De eigenschappen van het photographische beeld bleken geheel door fysische factoren te worden bepaald en zijn dan ook geheel te beschrijven in eenheden, afgeleid van het cm-gr-sec. stelsel.

De eigenschappen van het visueele beeld worden geheel beheerscht door psychologische factoren.

De relatie tusschen beiden wordt beheerscht door fysische, physiologische en psychologische factoren en het is juist deze relatie, die ons interesseert.

Een scherpe scheiding van deze drie groepen van factoren is echter niet mogelijk. Dit geldt wel in het bijzonder voor de scheiding tusschen

physiologische en psychologische factoren, die dikwijls zoo onscherp is, dat men zich wel eens afvraagt, of een dergelijke scheiding wel verantwoord is. Aan den anderen kant is deze onderscheiding zoo algemeen in gebruik, dat we deze ook bij de analyse van ons probleem moeten handhaven.

We zullen nu ons probleem gaan vereenvoudigen door ons een aantal beperkingen op te leggen:

De eerste groote beperking is deze, dat we zoo veel mogelijk zoog. psychologische beschouwingen geheel buiten het verband van dit proefschrift willen laten en ons zooveel mogelijk willen beperken tot zoog. physiologische beschouwingen.

In de physiologie van het zien is men gewoon de volgende hoofdindeeling te maken:

lichtzin

a. quantitatief (lichtzin in engeren zin)

b. kwalitatief (kleurenzin)

vormzin

Een tweede beperking, die we ons kunnen opleggen is deze, dat we den kwalitatieven lichtzin, dus den kleurenzin buiten beschouwing kunnen laten. Aangezien het doorlichte Röntgenphotogram practisch als een zoog. „neutraal filter” kan worden beschouwd zullen wij bij het beschouwen van het photographisch beeld slechts te maken hebben met één bepaalde verdeling van de lichtenergie over het spectrum, welke ook de energieverdeling van dat licht zij. Hoewel daaruit niet zonder meer volgt, dat het visuele beeld daardoor overal dezelfde (subjectieve) kleur zal vertoonen (aangezien het in principe mogelijk is, dat de quantiteit van de sensatie de qualiteit beïnvloedt) meenen we toch deze beperking te mogen invoeren, aangezien het er bij de beoordeeling van een Röntgenfoto nooit om zal gaan de verschillende elementen op grond van hun subjectieve kleur te onderscheiden.

Een derde beperking is deze, dat we zooveel mogelijk den vormzin buiten beschouwing laten.

Uit den vormzin zal dan ook slechts één onderwerp ter sprake komen, n.l. de gezichtsscherpte.

Men houde echter wel in het oog, dat éénerzijds de ruimtelijke verhoudingen der objectieve beeldelementen grooten invloed uitoefenen op de quantitatieve verhoudingen der helderheidssensaties en dat omgekeerd de vormsensaties worden beïnvloed door de quantitatieve verhoudingen der objectieve helderheidselementen. In de hier volgende beschouwingen

zal juist aan deze wederzijdsche beïnvloeding veel aandacht worden besteed.

De invoering van het begrip beeldelement maakt het ons mogelijk ons probleem te vereenvoudigen. Deze vereenvoudiging bestaat hierin, dat we ons voorloopig nog een vierde beperking opleggen. We zullen namelijk voorloopig uitgaan van een zeer eenvoudig objectief beeld („vereenvoudigd objectief beeld”), dat slechts bestaat uit twee objectieve beeldelementen, waarvan het ééne zeer uitgebreid is (zoodat het in het visuele beeld overeenkomt met het geheele subjectieve gezichtsveld („Sehfeld”), terwijl op dezen achtergrond één kleiner cirkelvormig begrensde helderheidselement aanwezig is, dat zoo is geplaatst, dat het door den waarnemer in de subjectieve gezichtslijn („Hauptsehrichtung”) wordt gezien. Een dergelijke vereenvoudiging mogen we voorloopig zeker invoeren. Indien we namelijk het photographische beeld analyseeren, dan zal dit in het algemeen weliswaar blijken te bestaan uit een groot aantal objectieve beeldelementen; ook het daarmee overeenkomende visuele beeld zal bestaan uit een groot aantal subjectieve beeldelementen; in het algemeen zullen echter slechts enkele van deze subjectieve beeldelementen *gelijktijdig* onze aandacht in beslag nemen en wel diegene, die direct (foveaal) worden beschouwd. Alle andere subjectieve elementen zullen als het ware een min of meer gelijkmatigen (subjectieven) achtergrond vormen ten opzichte waarvan deze enkele subjectieve elementen worden beschouwd. Meer concreet stelle men zich dus het vereenvoudigde objectieve beeld voor als een zeer groote Röntgenfoto van gelijkmatige zwarting, die geplaatst is voor een lichtkast van groote uitgebreidheid, waarop één scherp begrensde vlek van gelijkmatige zwarting voorkomt en waarvan de zwarting een andere is, dan die van den achtergrond. Reeds hier willen we opmerken, dat dit „vereenvoudigde objectieve beeld”, dat slechts bestaat uit twee elementen in het daarmee overeenkomende subjectieve beeld niet meer zal bestaan uit twee elementen. Tengevolge van een verschijnsel, dat in de physiologische optiek bekend staat als randcontrast, zal namelijk het subjectieve beeldelement, dat met dit eenvoudige objectieve beeldelement overeenkomt geen scherpe begrenzing meer hebben, waardoor het subjectieve beeld onder deze omstandigheden strikt genomen reeds zal bestaan uit een oneindig groot aantal subjectieve beeldelementen.

Ons voorloopig doel zal dus zijn na te gaan welke relaties bestaan tusschen het hiervoor geschetste eenvoudige objectieve beeld en het daarmee overeenkomende visuele beeld.

Bij onze analyse van deze relatie stuiten we nu dadelijk op een groote

moeilijkheid. Indien we n.l. trachten iets te weten te komen aangaande de relatie tusschen de eigenschappen van het objectieve beeld en die van het subjectieve beeld worden we gedwongen tot een vergelijking tusschen twee in wezen niet vergelijkbare grootheden. Terwijl de quantitatieve eigenschappen van het objectieve beeld kunnen worden weergegeven in éénheden, die berusten op het cm-gr-sec. stelsel, is het niet mogelijk de quantitatieve eigenschappen van het subjectieve beeld in dergelijke éénheden uit te drukken. Het is zelfs geheel onmogelijk de grootte van een subjectieve sensatie in een getal uit te drukken. In het gunstigste geval kunnen we slechts tot de conclusie komen, dat twee sensaties gelijk of dat één sensatie grooter of kleiner is dan een andere. Toch moet er tusschen (objectieve) prikkel en (subjectieve) sensatie een innig verband bestaan. Het behoeft immers geen betoog, dat zeer in het algemeen een grootere prikkel overeen zal komen met een grootere sensatie en omgekeerd.

Evenals nu echter voor de bestudeering van de eigenschappen van het photographisch beeld de kennis van de gevoeligheid van de emulsie voor Röntgenstralen van meer belang bleek te zijn, dan de absolute waarde van de zwarting (zie blz. 13) is ook voor de bestudeering van de eigenschappen van het visuele beeld de kennis van de gevoeligheid van het gezichtszintuig van den waarnemer van meer belang, dan de kennis van de grootte van de sensatie. Voorloopig zullen we dus onze aandacht aan de bestudeering van deze gevoeligheid wijden, terwijl slechts zeer in het kort (zie dit hoofdstuk blz. 22 e.v.) zal worden medegedeeld op welke wijze het eventueel mogelijk zou zijn op grond van onze kennis van de gevoeligheid van het gezichtsorgaan iets te weten te komen omtrent de grootte van de sensatie.

Voor de bepaling van de gevoeligheid van het gezichtsorgaan beschikken we nu over een aantal methoden, die, indien we ze toepassen op het objectieve beeld, dat we ons in het voorafgaande door vereenvoudiging tot studieobject hebben gekozen, kunnen formuleeren als de bepaling van:

- 1) de absolute drempelwaarde, d.w.z. de kleinste helderheid van een objectief element, waarbij het nog juist ten opzichte van een geheel lichtlozen (objectieven) achtergrond als een subjectief element wordt herkend;
- 2) de onderscheidingsdrempel, d.w.z. het kleinste helderheidsverschil tusschen objectief element en achtergrond, waarbij het element nog juist als een subjectief element wordt waargenomen;

- 3) de grootte van het objectieve helderheidsverschil tusschen objectief element en achtergrond, dat aanleiding geeft tot een onderscheidings-sensatie van bepaalde grootte;
- 4) de kleinste gezichtshoek, waaronder een helderheidselement moet worden gezien, opdat het nog juist ten opzichte van een geheel lichtlozen achtergrond kan worden onderscheiden;
- 5) de kleinste gezichtshoek, waaronder een objectief element moet worden gezien, opdat men het nog juist kan onderscheiden ten opzichte van een achtergrond met een bepaalde (objectieve) helderheid;
- 6) de gezichtsscherpte, d.w.z. de kleinste hoek, waaronder twee objectieve elementen moeten worden gezien, opdat men subjectief nog juist de sensatie heeft, dat er twee in verschillende subjectieve richting gelegen subjectieve elementen aanwezig zijn, waarbij dan de objectieve achtergrond lichtloos kan zijn, of een bepaalde helderheid kan hebben.

Deze zes methoden zijn echter voor de analyse van ons probleem niet allen even belangrijk.

De onder 1) en 4) beschreven methoden hebben voor ons geen betekenis, aangezien het wel zelden of nooit zal voorkomen, dat in een Röntgenfoto elementen moeten worden onderscheiden ten opzichte van een geheel lichtlozen achtergrond.

Verder blijken bij een nadere beschouwing de onder 2) en 5) beschreven methoden samen te vallen. De onderscheidingsdrempel is n.l. o.a. afhankelijk van den gezichtshoek, waaronder het te beoordeelen objectieve element wordt beschouwd. Een volledige experimenteele bepaling van de grootte van den onderscheidingsdrempel voor verschillende waarden van den gezichtshoek, waaronder het element wordt beschouwd leert ons dus in principe tevens de kleinste gezichtshoek, waaronder het element onder bepaalde helderheidscondities ten opzichte van zijn achtergrond gezien zal moeten worden, opdat het als een subjectief element zal worden herkend.

De onder 3) beschreven methode leidt ons tot een reeks theoretische en praktische moeilijkheden.

Aangezien, zooals op blz. 20 is uiteengezet de grootte van een sensatie niet is aan te geven, zal het niet zonder meer mogelijk zijn aan te geven hoe groot het helderheidsverschil tusschen objectief element en achtergrond moet zijn, om tot een onderscheidssensatie van bepaalde grootte te leiden. Wel zal het in principe mogelijk zijn twee of meer helderheidsverschillen te beoordeelen op hun gelijkheid of ongelijkheid.

Een simultane beoordeeling hiervan (en het is juist een simultane be-

oordeeling, die voor ons doel het meest belangrijk is) is niet mogelijk met behulp van het „vereenvoudigde objectieve beeld”, dat we tot nu toe als uitgangspunt van onze beschouwingen hebben gekozen. Immers het vergelijken van twee sensatieverschillen zal steeds de aanwezigheid van minstens drie beeldelementen in het subjectieve gezichtsveld eischen (achtergrond en minstens twee elementen), die wat hun subjectieve helderheidsverschil betreft ten opzichte van den achtergrond of ten opzichte van elkaar vergeleken moeten worden. Een dergelijke bepaling komt dus neer op het rangschikken van drie of meer objectieve helderheidselementen volgens subjectief gelijke helderheidstrappen. Een dergelijke rangschikking echter wordt in hooge mate beïnvloed door een reeks van verschijnselen, die in de physiologische optiek bekend staan als simultaancontrast. Bijna alle schrijvers, die zich met dergelijke bepalingen hebben bezig gehouden hebben dan ook ingezien, dat hun resultaten door contrast op een zoodanige wijze worden beïnvloed, dat elimineeren van dezen factor bijna onmogelijk is.

Dit is de reden, waarom wij zelf geen experimenten betreffende deze quaestie hier zullen beschrijven. Wel zal in hoofdstuk IV de literatuur betreffende deze bepalingen worden besproken.

Samenvattend kunnen we dus zeggen, dat voor de bepaling van de gevoeligheid van het gezichtsorgaan drie methoden voor ons probleem van belang zijn en wel de bepaling van

- I. de *onderscheidingsdrempel* onder verschillende condities;
- II. de *gezichtsscherpte* onder verschillende condities;
- III. de *objectieve helderheidstrappen, die met subjectief gelijke helderheidstrappen overeen komen.*

Wij kunnen onze voorloopige analyse niet beëindigen zonder dat we onze aandacht hebben besteed aan de betrekking, die bestaat tusschen de (objectieve) helderheid en de (subjectieve) helderheidssensatie, die hiermee overeenkomt. We hebben echter hiervoor er reeds op gewezen (blz. 20) dat voor ons probleem de bestudeering van de gevoeligheid van het gezichtszintuig van meer belang is, dan de bestudeering van de grootte van de sensatie zelf.

De groote moeielijkheid, die we bij de bestudeering van de grootte van de sensatie ondervinden is hierin gelegen, dat we niet beschikken over een absolute sensatie-eenheid. We kunnen dus slechts hopen iets betreffende de grootte van de sensatie te weten te komen door vergelijking van sensaties of door vergelijking van sensatieverschillen.

Theoretisch komt hiervoor de sub III besproken rangschikking van

objectieve helderheidselementen volgens subjectief gelijke helderheids-trappen zeker in aanmerking. Immers indien men een aantal helderheidselementen rangschikt volgens subjectief gelijke helderheidstrappen heeft men in die helderheidstrappen als het ware een subjectieve, zij het ook willekeurige, éénheid van sensatie voor zich. Door nu te bepalen met welke objectieve helderheden deze sensatietrappen overeenkomen zou men een betrekking kunnen vinden tusschen objectieve helderheid en sensatie. Helaas maakt het hiervoor reeds genoemde simultaancontrast, dat juist bij dergelijke grootere helderheidsverschillen een groote rol gaat spelen, dergelijke bepalingen vrijwel waardeloos. In hoofdstuk IV zal hierop nader worden ingegaan.

In principe zou het mogelijk kunnen zijn deze contrastbeïnvloeding zeer te vereenvoudigen door het successief vergelijken van helderheidsverschillen. Eenige globale experimenten leerden ons echter, dat het zeer moeilijk, zoo niet geheel onmogelijk is een zeker subjectief helderheidsverschil zoo in het geheugen in te prenten, dat het voor een successieve reproductie bij een ander helderheidsniveau bruikbaar is.

Om te ontkomen aan de moeilijkheden, die zich voordoen, indien we de betrekking tusschen objectieve helderheid en sensatie willen bestudeeren met behulp van de bepaling van gelijke subjectieve helderheidstrappen hebben een groot aantal onderzoekers zich tot een andere methode gewend en wel tot de bepaling van den onderscheidingsdrempel.

Op instigatie van *Fechner* (48) is men er in het algemeen toe gekomen het sensatieverschil behoorende bij den onderscheidingsdrempel te beschouwen als een éénheid voor de sensatie.

Deze opvatting is voor veel critiek vatbaar.

De argumenten voor en tegen deze opvatting worden fraai uiteengezet door *Ebbinghaus* (44), wiens woorden ik daarom hier citeer:

„Allein die *Fechner'sche* Gleichsetzung ist mehrfach angegriffen worden. Verschiedenes Ebenmerkliche, hat man gesagt, sei gewiss stets in gleicher Weise merklich, es erscheine als etwas, was nicht weiter verringert werden könne, ohne zu verschwinden. Damit aber sei durchaus noch nicht gesagt, dass es auch von gleicher Grösse sein müsse. Es sei sehr wohl denkbar, dass das die Mercklichkeitsgrenze gerade Ueberschreitende doch bei verschiedener absoluter Reizgrösse sofort auch als ein verchieden Grosses empfunden werde. Die *Fechner'sche* Behauptung, dass er sich der Gleichheit der ebenmerklichen Verschiedenheiten durch direkte Beobachtung versichert habe, dürfte demgegenüber

nicht allzu schwer ins Gewicht fallen, denn bei der Kleinheit der in Betracht kommenden Empfindungsstufen können solche Beurteilungen keinen Anspruch auf grosse Genauigkeit erheben.

Trotz aller ungenügender Begründung aber hat *Fechner* dennoch sachlich das Richtige getroffen. Obschon es nicht selbstverständlich ist und kaum durch directe Beobachtung entschieden werden kann, das ebenmerkliche Verschiedenheiten auch gleiche Empfindungsstufen sind, und obschon sie anderswo, z. B. bei Raumgrössen, nicht als solche betrachtet werden können, hier bei unsren Stärkeverschiedenheiten der Empfindungen muss es notwendig geschehen. Die gegenteilige Annahme wurde zu widersinnigen Konsequenzen führen."

Maar ook indien we dus aannemen, dat de bij de onderscheidingsdrempel behorende sensatie een eenheid vormt, mogen we daaruit nog niet zonder meer de consequentie trekken, dat een zekere sensatie niet anders is als de som van een aantal dergelijke sensatieeenheden. Een dergelijke conclusie is voor een psychologische grootheid ongeoorloofd.

Toch is een dergelijke procedure zeer veel gevolgd sinds *Fechner*. Nog tot in onzen tijd (zie bijv. *Houstoun* (86—90)) wordt uit de gevoeligheidscurve door graphische of mathematische integratie de sensatiecurve (d.w.z. de betrekking tusschen objectieve helderheid en grootte van de sensatie) afgeleid. Een dergelijke integratie is dus eenigszins vergelijkbaar met datgene wat we zouden doen, indien we uit de gevoeligheidscurve van een photographische emulsie (zie fig. 2b) de zwartingscurve (zie fig. 2a) door integratie zouden afleiden. Bij een dergelijk fysisch proces is dit zonder meer geoorloofd. Voor de sensatie geldt dit echter niet. Wij zullen dan ook goed doen in onze verdere beschouwingen de grootte van de sensatie geheel buiten onze beschouwing te laten en ons alleen bezig te houden met de gevoeligheid van het gezichtsorgaan. Voor literatuur betreffende het verband tusschen objectieve helderheid en subject, sensatie zie o.a. *Fechner* (48), *König* en *Brodhun* (96, 98), *Ebbinghaus* (44), *Broca* (12), *Hecht* (59), *Houstoun* (77), *Piéron* (126), *Helmholtz* (75), *Hering* (77).

§ 4. *De eenheid van objectieve helderheid.*

Op blz. 16 zetten we uiteen, dat voor de beschrijving van de eigenschappen van het photographisch beeld de kennis van de intensiteit en de ruimtelijke verdeling van de objectieve beeldelementen noodzakelijk

is. Voor de beschrijving van de intensiteit van de elementen staan ons nu in principe vier grootheden ter beschikking n.l.:

Lichtstroom.

Lichtsterkte.

Helderheid.

Verlichtingssterkte.

De *lichtstroom* is de totale hoeveelheid stralingsenergie, die een stralend lichaam uitzendt.

De *lichtsterkte* van een lichtbron wordt weergegeven door de grootte van den lichtstroom, in een bepaalde richting.

De *helderheid* van een lichtbron in een zekere richting is het quotient van de lichtsterkte in die richting en de projectie van het stralend oppervlak (het schijnbare oppervlak) in die richting.

De *verlichtingssterkte* van een oppervlak is de lichtstroom, die per eenheid van dat oppervlak invalt.

TABEL 1.

Grootheid	Symbool	Absol. eenheid	Practische eenheid
Lichtstroom	Φ	Watt	lumen (lm) = = kaars/steradiaal
Lichtsterkte	I	Watt/steradiaal	(Internat.) kaars (k)
Helderheid	B	Watt/steradiaal cm ²	stilb (st) = kaars/cm ² ¹⁾
Verlichtingssterkte.	E	Watt/cm ²	lux (lx) = lumen/m ²

¹⁾ Zie voor andere helderheidséénheden het vervolg van deze paragraaf.

Deze grootheden kunnen nu in eenheden worden uitgedrukt. Er bestaan twee hoofdgroepen van eenheden n.l. de zoog. absolute eenheden (die gebaseerd zijn op den *lichtstroom*! van een lichtbron, die een lichtstroom van 1 Watt uitzendt) en de zoog. praktische (met een verwarrende naam wel eens subjectieve genoemd) eenheden, die gebaseerd zijn op de *lichtsterkte*! van de internationale standaardkaars in horizontale richting. In tabel 1. geven we nu een overzicht over de verschillende grootheden met hun symbolen en de praktische en absolute eenheden, waarbij we opmerken, dat de in deze tabel voorkomende éénheid van

ruimtehoek, de steradiaal, kan worden gedefinieerd als de ruimtehoek, die uit een bol met éénheidsstraal de éénheid van oppervlak uitsnijdt.

Bij onze beschouwingen heeft nu het objectieve beeld de functie van een lichtbron en wel een secundaire¹⁾.

Deze secundaire lichtbron wordt door ons beschouwd.

„Wat wij nu van een lichtbron zien, is niet de lichtstroom, niet de lichtsterkte, niet de verlichtingssterkte maar de helderheid” v. d. W e r f h o r s t (154).

Onder de helderheid B van een lichtbron in een bepaalde beschouwingsrichting hebben we geleerd te verstaan het quotient van de lichtsterkte in die richting en het schijnbaar oppervlak van de lichtbron in die richting:

$$B = \frac{I}{S \cos \vartheta} \quad (1)$$

waarin B = helderheid in de beschouwde richting,

I = lichtsterkte in de beschouwde richting en

S = oppervlakte lichtbron²⁾

ϑ = hoek, die de beschouwde richting maakt met de normaal.

Deze definitie van de helderheid geldt voor iedere lichtbron.

Indien nu de lichtbron een oppervlak is, dat uitzendt volgens de zoog. cosinuswet van L a m b e r t (hieronder zullen wij bespreken welke lichtbronnen dat bij benadering doen), dan is

$$I = I_0 \cos \vartheta \quad (2)$$

waarin I = lichtsterkte in een bepaalde richting,

I_0 = lichtsterkte in de richting van de normaal en

ϑ = hoek die de gevraagde richting maakt met de normaal.

Indien we deze waarde van I overbrengen in vergelijking (1) dan krijgen we

$$B = \frac{I_0 \cos \vartheta}{S \cos \vartheta} = \frac{I_0}{S} \quad (3)$$

m.a.w. indien een lichtbron licht uitzendt volgens de cosinuswet van L a m b e r t, is de helderheid van die lichtbron onafhankelijk van de beschouwingsrichting.

¹⁾ Een secundaire lichtbron is een lichtbron, die door transmissie of reflectie licht uitzendt, dat oorspronkelijk door een andere primaire lichtbron is uitgezonden.

²⁾ Het symbool S , dat hier het oppervlak van de lichtbron aanduidt, wordt overigens in dit proefschrift altijd gebruikt voor het begrip „zwarting” van een photographische emulsie.

Nu kunnen we aannemen, dat de lichtbronnen, waarmee we in de hier volgende beschouwingen te maken hebben (n.l. de glasplaat van een Röntgenlichtkast, de Röntgenfoto zelf en de matwitte oppervlakken van onze hierna te beschrijven proefopstelling) het licht met een voldoende nauwkeurigheid uitzenden volgens de cosinuswet. Een vlak straalt namelijk dan uit volgens de cosinuswet, indien het licht door dat vlak volkomen diffuus, d.w.z. zonder voorkeursrichting wordt uitgezonden.

Zooals we reeds eerder opmerkten zijn alle lichtgevende oppervlakten, waarmee we in dit proefschrift te maken hebben secundaire lichtbronnen. De helderheid van een dergelijke secundaire lichtbron is niet zonder meer te berekenen uit de lichtsterkte van de primaire lichtbron en de afstand waarop deze zich van het secundair lichtgevende oppervlak bevindt. Daarvoor is het noodig de absorptie van het secundaire oppervlak te kennen.

De absorptie bepaalt dus de hoeveelheid licht, die door het secundair lichtgevende oppervlak wordt doorgelaten of gereflecteerd.

Voor reflecterende oppervlakten worden deze verhoudingen uitgedrukt in de grootte van de *albedo*. Onder albedo verstaan we de fractie van het opvallende licht, die door het secundair licht gevende oppervlak wordt gereflecteerd. In Engelsch sprekende landen heeft men het begrip „perfect diffuser” ingevoerd.

Een „perfect diffuser” is een oppervlak met albedo 1,00, dat uitstraalt volgens de cosinuswet van *L a m b e r t*. Dergelijke oppervlakken zijn practisch niet te verwezenlijken, maar de invoering van dit begrip vergemakkelijkt in hooge mate de definitie van sommige helderheidséenheden.

Wat nu betreft de keuze van de te bezigen éénheid van objectieve helderheid zouden wij eigenlijk de voorkeur moeten geven aan de zoog. absolute eenheden, d.w.z. eenheden, die direct zijn afgeleid van het cm-gr-sec stelsel.

De absolute eenheid van helderheid in dit stelsel is de Watt/Steradiaal cm^2 , d.w.z. een energie van 1 Watt uitgezonden binnen een ruimtehoek van 1 steradiaal door een lichtbron met schijnbaar oppervlak van 1 cm^2 . Een opgave van de helderheid in deze eenheid gecombineerd met een opgave van de energieverdeeling in het spectrum van het licht definieert de quantitatieve eigenschappen van een lichtbron volkomen. Wij zijn het dan ook in principe eens met vele physici (zie bijv. *O r n s t e i n* (125)), die het gebruik van absolute eenheden voor problemen betreffende den lichtzin propageeren. Aangezien echter vrijwel alle door ons geraadpleegde schrijvers hun gegevens uitdrukken in eenheden behoorende tot het zoog. practische stelsel hebben ook wij ons genoodzaakt gezien dit

stelsel als uitgangspunt van onze beschouwingen te kiezen. Uitgangspunt voor dit praktische stelsel is de lichtsterkte van de internat. kaars (k) in horizontale richting.

De eenheid van helderheid in dit systeem is de stilb (st).

$$1 \text{ stilb} = 1 \text{ kaars/cm}^2$$

Speciaal in Amerika, waar vele voor ons onderwerp belangrijke publicaties zijn verschenen, is men echter gewoon de helderheid op een wat andere wijze te definiëren en wel door uit te gaan van de helderheid, die een „perfect diffuser” aanneemt, indien ze getroffen wordt door een bepaalden lichtstroom (en dus ook dezen lichtstroom uitzendt).

Zoo komen we tot de definitie van de lambert (lamb).

$$1 \text{ lambert} = 1 \text{ lumen/cm}^2 \text{ (perf. diffuser)}$$

Aangezien deze eenheid wat groot is voor practisch gebruik is hier weer van afgeleid de millilambert (ml)

$$1 \text{ millilambert} = 10^{-3} \text{ lambert}$$

Een andere eenheid van hetzelfde type is de apostilb (asb)

$$1 \text{ apostilb} = 1 \text{ lumen/M}^2 \text{ (perf. diffuser)} = 10^{-1} \text{ millilamb.}$$

Wat betreft de relatie tuschen de beide typen van helderheidseenheden merken we op, dat op vrij eenvoudige wijze is af te leiden, dat

$$1 \text{ lambert} = 1/\pi \text{ stilb}$$

Wij hadden dus de keuze uit eenerzijds de stilb, anderzijds de groep lambert, millilambert, apostilb.

Aangezien nu zeer veel van de door ons geraadpleegde schrijvers de millilambert als uitgangspunt hebben gekozen en de omrekening daarvan in stilbs door de factor π wat onoverzichtelijk is verdiende het aanbeveling een eenheid van het tweede type voor ons doel aan te wijzen. Om nader te noemen redenen werd hieruit de apostilb aangewezen. Deze eenheid is daarom voor ons nogal bruikbaar, omdat men deze ook kan definiëren gebruikmakend van een eenheid, waarmee waarschijnlijk vele lezers vrij goed vertrouwd zijn n.l. de lux.

De apostilb is namelijk behalve op de hiervoor genoemde wijze ook te definiëren als de helderheid, die een „perfect diffuser” aanneemt, indien ze wordt verlicht met een verlichtingssterkte van 1 lux. Om deze reden wordt de apostilb ook wel eens aangeduid als lux aequivalent (lx a).

Indien dus in dit proefschrift niet uitdrukkelijk anders is vermeld wordt als eenheid van helderheid steeds de apostilb bedoeld.

Voor de herleiding van apostilbs in andere helderheidseenheden volgt hier een tabel:

Tabel 2.

apostilb . . .	1 asb =	asb 1.0	$\frac{\text{st}}{10^{-4} \pi}$	lamb 10^{-4}	ml 10^{-1}	ft lamb $9.290 \cdot 10^{-2}$
stilb	1 st =	$\pi \cdot 10^4$	1.0	π	$\pi \cdot 10^3$	$9.290 \cdot \pi \cdot 10^2$
lambert . . .	1 lamb =	10^4	$\frac{1}{\pi}$	1.0	10^3	$9.290 \cdot 10^2$
millilambert .	1 ml =	10	$\frac{10^{-3}}{\pi}$	10^{-3}	1.0	$9.290 \cdot 10^{-1}$
footlambert .	1 ft lamb =	10.76	$\frac{1.076 \cdot 10^{-3}}{\pi}$	$1.076 \cdot 10^{-3}$	1.076	1.0

Indien, zooals dat dikwijls het geval is, de helderheid is opgegeven in de vorm van $10 \log B$ kunnen we deze waarde gemakkelijk in andere eenheden herleiden door de logaritmie van de hierboven vermelde omrekeningsfactor bij de gegeven waarde op te tellen, waardoor men de waarde van $10 \log B$ in de andere eenheid vindt.

Literatuur: Zwikker (158), Ornstein (125), v. d. Werfhorst (154), Vermeulen (150), Duke Elder (41), Piéron (126).

§ 5. Samenvatting van het in dit hoofdstuk behandelde. Plan voor verdere analyse.

In dit hoofdstuk werd het volgende probleem gesteld:

Welke relaties bestaan tusschen de eigenschappen van het (objectieve) Röntgenographische beeld en het (subjectieve) visueele beeld, dat bij de beoordeling hiervan in het bewustzijn van den waarnemer ontstaat?

Voor het bestudeeren van deze relatie bleek het noodig te zijn ons een inzicht te verschaffen in de wijze waarop de gevoeligheid van het gezichtszintuig zich wijzigt onder invloed van verschillende factoren.

Aangetoond werd, dat voor de bestudeering van de gevoeligheid van het gezichtszintuig drie methoden in het bijzonder onze aandacht verdienen en wel de bepaling van:

- I. *den onderscheidingsdrempel*
- II. *de gezichtsscherpte*
- III. *de wijze waarop een aantal objectieve helderheidselementen moeten worden gerangschikt om aanleiding te geven tot subjectief gelijke helderheidstrappen.*

Een overzicht werd gegeven van de verschillende in gebruik zijnde objectieve helderheidseenheden, waarna werd vastgesteld, dat voor ons doel de apostilb (asb) de meest geschikte helderheidseenheid is.

De begrippen „beeldelement” en „helderheidselement” werden ingevoerd.

Een „vereenvoudigd objectief beeld” werd voorloopig als uitgangspunt gekozen voor onze beschouwingen. In dit „vereenvoudigde objectieve beeld” zijn slechts twee helderheidselementen aanwezig.

In het nu volgende deel van het proefschrift zullen we ons nu zeer uitvoerig bezig houden met de factoren die de gevoeligheid bepaald met behulp van de meting van den onderscheidingsdrempel (I) bepalen. Een aantal van deze factoren zal aan de hand van eigen experimenten (hoofdstuk III) worden onderzocht.

Tenslotte zal de gevoeligheid bepaald met behulp van de meting der gezichtsscherpte en met behulp van instelling van gelijke helderheidstrappen (II en III) onze aandacht hebben, waarna we zullen nagaan in hoeverre de genoemde feiten ons nader kunnen brengen tot de oplossing van het probleem, dat we ons hebben gesteld (Hoofdstuk IV).

HOOFDSTUK II.

ONDERSCHEIDINGSDREMPEL: ALGEMEENE BESCHOUWINGEN.

De factoren, waardoor de gevoeligheid van het gezichtszintuig, bepaald met behulp van metingen van den onderscheidingsdrempel, wordt beheerscht; literatuur betreffende den invloed van deze factoren; pogingen tot mathematische interpretatie van de experimenteele resultaten; slot-beschouwing.

§ 1. *Factoren, waardoor de gevoeligheid van het gezichtszintuig, bepaald met behulp van metingen van den onderscheidingsdrempel, wordt beheerscht.*

In hoofdstuk I is uiteengezet, dat voor de kennis van de gevoeligheid van het gezichtsorgaan de bepaling van den onderscheidingsdrempel onder verschillende omstandigheden een zeer belangrijk middel is.

De onderscheidingsdrempel is het kleinste helderheidsverschil tusschen twee objectieve helderheidselementen, dat nog juist tot een onderscheids-sensatie aanleiding geeft.

De helderheid van één van deze beide elementen moet als *uitgangshelderheid* worden beschouwd. Onder de voorwaarden, die bij ons „vereenvoudigd objectief beeld” (zie blz. 19) aanwezig zijn ligt het voor de hand de helderheid van den achtergrond als uitgangshelderheid te beschouwen.

In dit proefschrift zullen wij de grootte van de uitgangshelderheid steeds aanduiden met het symbool B . De helderheid van het hiermee te vergelijken element zullen we aanduiden met B' . Indien nu B' zoo groot wordt gekozen, dat het element (B') juist ten opzichte van het element (B) ¹⁾ kan worden herkend, dan geeft het verschil $B' - B = \Delta B$ ons de grootte van den onderscheidingsdrempel aan. De grootte van ΔB is afhankelijk van een groot aantal factoren, waarvan de uitgangshelderheid B echter verreweg de belangrijkste is. Deze afhankelijkheid staat zóó op den voorgrond, dat vrijwel alle schrijvers hun resultaten van

¹⁾ element (B) beduidt: element met helderheid B .

onderscheidingsdrempelmetingen uitdrukken in een grootheid, waarin zoowel B als ΔB vertegenwoordigd zijn.

Meestal worden de resultaten weergegeven in de vorm van één der volgende quotiënten:

1. $\Delta B/B$ (relatieve onderscheidingsdrempel volgens F e c h n e r (48)).
2. $B'/B = (B + \Delta B)/B$.
3. $B/\Delta B$ (*discriminationfactor* volgens N u t t i n g (124), *contrast-gevoeligheid* volgens meerdere moderne Amerikaansche schrijvers).
4. $B/B' = B/(B + \Delta B)$.

Van deze grootheden geven de onder 3. en 4. genoemde ons een directe maat voor de gevoeligheid van het gezichtsorgaan, aangezien de waarde van deze beide quotiënten stijgt indien ΔB kleiner wordt.

Het komt ons voor, dat de onder 3. genoemde vorm n.l. $B/\Delta B$ de meest geschikte vorm is om onze resultaten uit te drukken. Het is ons niet gelukt voor deze grootheid een goeden en tevens korten naam te vinden. De door N u t t i n g (124) ingevoerde naam „discrimination-factor” brengt niet duidelijk tot uiting, dat deze factor de gevoeligheid van het gezichtsorgaan weergeeft, terwijl de door meerdere auteurs gebezigde naam „contrastgevoeligheid” zeer verwarrend is.

Het woord „contrast” wordt namelijk gebruikt voor twee zeer verschillende begrippen. De röntgenologen en vele schrijvers op het gebied der verlichtingskunde duiden met het woord contrast de verhouding tusschen de helderheden van twee objectieve helderheidselementen aan.

Daarentegen was in de physiologische optiek reeds veel eerder het woord contrast in gebruik voor en zeer gecompliceerde groep van verschijnselen, die optreden indien de gevoeligheid van het gezichtsorgaan zich wijzigt tengevolge van de aanwezigheid van een subjectief helderheidselement in de gezichtsruimte, waarbij dan in het bijzonder onderscheid wordt gemaakt tusschen simultaan en successief contrast. Hoewel wij overwogen in dit proefschrift het woord contrast slechts te gebruiken in den zin, waarin o.a. de röntgenologen het gebruiken bleek het ons, dat dit zeer verwarrend werkt, aangezien in hoofdstuk IV juist het contrast in physiologisch-optische beteekenis nog uitvoeriger ter sprake zal komen. *Indien dus in dit proefschrift niet uitdrukkelijk anders is vermeld wordt met het woord „contrast” bedoeld contrast in physiologisch-optische beteekenis.*

De grootheid $B/\Delta B$ zouden we moeten uitdrukken door een zeer leelijk woord bijv. „onderscheidingsdrempelgevoeligheid”. In dit proefschrift zullen we dit begrip aanduiden met „Gevoeligheid (o.dr.)”.

Gevoeligheid (o.dr.) = gevoeligheid van het gezichtsorgaan gemeten door bepaling van den onderscheidingsdrempel = $B/\Delta B$.

Ons doel zal nu zijn ons een inzicht te verschaffen in de factoren die de gevoeligheid (o.dr.) beïnvloeden.

De volgende factoren komen nu ter sprake:

Factoren, die den toestand van het waarnemende gezichtszintuig betreffen:

Ia. Adaptatietoestand van het gezichtsorgaan.

Ib. Monoculaire of binoculaire waarneming.

Ic. Oppervlakte van de effectieve pupil.

Id. Compliceerende factoren.

Ida. Individueele verschillen in de gevoeligheid (o.dr.).

Idb. Oefening.

Idc. Aandacht, Concentratie enz.

Idd. Vermoeibaarheid.

Ide. Gelijktijdige aanwezigheid van andere prikkels.

Factoren, die de eigenschappen van het objectieve beeld betreffen:

Ie. Relatieve energieverdeeling over het spectrum van het licht (object. kleur).

If. Ruimtelijke verhoudingen, waaronder de elementen worden waargenomen.

Ifa. Algemeene ruimtelijke constellatie der elementen.

Ifb. Gezichtshoek, waaronder het element (B') wordt waargenomen.

Ifc. Aanwezigheid van bijzondere elementen in het gezichtsveld.

Ifd. Beweging van elementen in het gezichtsveld.

Ig. Tijdelijke verhoudingen, waaronder de elementen worden waargenomen (simultaan of successief; momentaan of permanent).

Ih. Grootte van de uitgangshelderheid B .

Ii. Algebraïsch teeken van ΔB (B' groter of kleiner dan B).

Wij zullen aan al deze verschillende factoren achtereenvolgens een oogenblik onze aandacht schenken, om na te gaan welke hiervan voor de analyse van ons Röntgenologisch probleem van zooveel belang zijn, dat een meer uitvoerige behandeling noodzakelijk wordt.

Ia. Adaptatietoestand van het gezichtsorgaan:

Ongetwijfeld wordt de gevoeligheid (o.dr.) o.a. bepaald door den adaptatietoestand, dien we zouden kunnen definieeren als de voorgeschiedenis van het orgaan. Het gezichtszintuig heeft immers de eigenschap,

dat het in staat is zich aan zeer verschillende helderheden aan te passen. Deze aanpassing manifesteert zich in den vorm van een wijziging in de gevoeligheid.

Wij kunnen nu niet als vanzelfsprekend aannemen, dat bij het bezien van een Röntgenfoto het geheele subjectieve gezichtsveld volledig ge-adapteerd zal zijn aan de aan dat gezichtsveld aangeboden objectieve helderheid. Voor onze analyse zal dus een meer uitvoerige bespreking van den invloed van dezen factor noodzakelijk zijn. Aan het einde van dit hoofdstuk zal dan ook de literatuur betreffende deze quaestie worden besproken, terwijl een deel van hoofdstuk III aan eenige eigen experimenten betreffende dit vraagstuk zal zijn gewijd.

Ib. Monoculaire of binoculaire beschouwing:

Aangezien de Röntgenfoto in het algemeen binoculair zal worden beschouwd zou eigenlijk de monoculaire beschouwing geheel buiten onze aandacht kunnen vallen, ware het niet, dat in de literatuur aangaande den onderscheidingsdrempel in verband met technisch experimenteele redenen juist de monoculaire beschouwing op den voorgrond treedt.

Een groot aantal auteurs zijn van meening, dat de gevoeligheid (o.dr.) grooter is voor binoculaire dan voor monoculaire beschouwing (Broca (12), Garten (55), Simon (138), Lowry (107) e.a.)

In tegenstelling hiermede zijn andere auteurs van meening, dat speciaal bij foveale waarneming (die zooals later zal blijken juist voor ons onderwerp van het meeste belang is) geen verschil zou bestaan tusschen de resultaten voor monoculaire of binoculaire beschouwing (le Grand (56), Hochstadt en Lippay (82) e.a.) Voor ons probleem is echter de beïnvloeding van de absolute waarde van $B/\Delta B$ door deze factor niet zoo belangrijk als de vraag of de invloed op de gevoeligheid (o.dr.) van de andere factoren, die sub Ia—i zijn genoemd, anders is voor monoculaire dan voor binoculaire waarneming. Hierover bestaan, voor zoover ons bekend is, geen systematische onderzoeken. Aangezien in ieder geval de invloed van dezen factor niet groot zal zijn, hebben we gemeend gerechtigd te zijn voorloopig de resultaten van onderscheidingsdrempelbepalingen voor monoculaire waarneming geheel op één lijn te stellen met resultaten voor binoculaire waarneming.

Ic. Invloed van de oppervlakte van de effectieve pupil op de gevoeligheid (o.dr.):

De helderheid van het retinabeeld wordt beheerscht door een groot aantal factoren, waarvan natuurlijk de helderheid van het waargenomen objectieve helderheidselement de belangrijkste is.

Een tweede factor, die echter eveneens van veel belang is, is de oppervlakte van de zoog. effectieve pupil.

Indien tusschen het waarnemende orgaan en het te beschouwen objectieve helderheidselement geen optische hulpmiddelen (oculaires of diaphragma's) zijn ingeschakeld wordt de oppervlakte van de effectieve pupil bepaald door het oppervlak van de zoog. intreepupil van het oog, dat op zijn beurt weer ten nauwste samenhangt met het oppervlak van de anatomische pupil. Indien echter wel een optisch systeem is ingeschakeld en de uitreepupil van dit systeem kleiner is dan de intreepupil van het oog, wordt de helderheid van het retinabeeld beheerscht door het oppervlak van deze uitreepupil.

Vele Amerikaansche auteurs (bijv. H e c h t) voeren nu een nieuwe helderheidseenheid (photon) in, welke eenheid een maat zou zijn voor de helderheid van het retinabeeld.

De photon wordt dan gedefinieerd als een zekere objectieve helderheid bezien door een effectieve pupil met een oppervlakte van 1 mm^2 .¹⁾ Het komt ons voor, dat tegen de invoering van deze eenheid een groot bezwaar bestaat. Aangezien namelijk het photon bedoeld is als een eenheid voor de *objectieve* helderheid van het retinabeeld, zou men eigenlijk moeten eischen, dat deze eenheid een geheel vaststaande grootte heeft. Dit is nu niet het geval. De helderheid van het retinabeeld wordt namelijk behalve door de helderheid van het objectieve element en de oppervlakte van de effectieve pupil bepaald door een reeks andere moeilijk te berekenen factoren, waarvan de voornaamste zijn de refractietoestand van het oog en de absorptie en reflectie door de brekende media.

Wij hebben daarom gemeend de eenheid „photon” in dit proefschrift niet te moeten toepassen. We zullen ons echter goed moeten realiseren, dat bij de onderlinge vergelijking van de resultaten van verschillende schrijvers aandacht zal moeten worden besteed aan de oppervlakte van de bij de experimenten aanwezige effectieve pupil.

Id. Gedeeltelijk psychologische factoren:

Ida. Individueele gevoeligheid:

Deze factor speelt een groote rol. Gedeeltelijk moeten de verschillende

¹⁾ Men komt echter dit begrip photon tegen in verschillende beteekenis, doordat verschillende auteurs hiermede een verschillende objectieve helderheidseenheid per mm^2 effectieve pupil aanduiden. (Bovendien kan nog verwarring ontstaan, doordat het begrip photon in de quantentheorie wordt gebruikt in de beteekenis van „lichtquant”).

waarden van de gevoeligheid (o.dr.) van verschillende auteurs zelfs aan dezen factor worden toegeschreven.

Ook hier is echter voor ons de absolute waarde van de gevoeligheid (o.dr.) van minder belang, dan de vraag of de beïnvloeding van de gevoeligheid door de andere sub Ia—i genoemde factoren voor verschillende individuen sterk verschilt. Indien we nu de resultaten van H o u s t o u n (88, 89, 90) voor een groot aantal proefpersonen zien wat betreft den invloed van de grootte van de uitgangshelderheid B op de waarde van $B/\Delta B$, dan blijkt, dat het algemeene verloop van de gevoeligheid (o.dr.) ten opzichte van B voor de meeste proefpersonen hetzelfde is. Wanneer H o u s t o u n dan ook voor één proefpersoon een zeer afwijkend gedrag vindt, blijkt dit te worden veroorzaakt, doordat de proefpersoon bij hooge waarden van de uitgangshelderheid B onwillekeurig zijn fixatierichting wijzigt.

Idb. Oefening:

Verschillende auteurs zijn van meening, dat deze factor de gevoeligheid (o.dr.) beïnvloedt en wel, dat deze door oefening groter zou worden (S c h i r m e r (135), M ü l l e r L y e r (120, 121), S i m o n (138)). Gedeeltelijk verklaart deze factor misschien de individuele gevoeligheidsverschillen. Systematische onderzoeken over den invloed van de oefening op de gevoeligheid (o.dr.) zijn ons niet bekend.

Voor ons probleem is deze factor slechts in zooverre van belang, dat men met de mogelijkheid rekening moet houden, dat ervaren Röntgenologen misschien in staat zullen zijn beeldelementen als zoodanig te herkennen, die voor een minder ervaren onzichtbaar zijn.

Idc. Aandacht:

Dit is wel een zuiver psychologische factor, die in verband met de beperking, die we ons op blz. 18 oplegden onbesproken kan blijven.

Idd. Vermoeibaarheid:

Ook de invloed van dezen factor, die ongetwijfeld aanwezig is, speelt in het bijzonder bij de beoordeeling van experimenteele resultaten, waarbij dikwijls de eindwaarde een gemiddelde is van een groote reeks waarnemingen een rol. Doch ook indien een Röntgenoloog langen tijd achtereen bepaalde elementen in de Röntgenfoto beziet, moet men er rekening mede houden, dat vermoeidheid van het gezichtsorgaan haar invloed op de beoordeeling doet gelden.

Idc. Gelijktijdige aanwezigheid van andere prikkels:

In dit verband verdienen de experimenten van Kravkov (100) de aandacht. Deze ging na in welke mate de gevoeligheid (o.dr.) van een oog wordt beïnvloed door verlichting van het andere en vond, dat bij felle belichting van het eene oog de gevoeligheid (o.dr.) van het andere daalt. Wat betreft zijn theoretische interpretatie van de waargenomen feiten komt het ons voor, dat de afleiding van de aandacht door deze bijkomstige sterke lichtprikkel de resultaten toch wel zeer sterk moet beïnvloeden, zoodat een deel van dezen invloed is onder te brengen onder datgene, wat we onder Idc hebben besproken.

Ie. Energieverdeeling over het spectrum van het licht:

Verschillende schrijvers hebben zich bezig gehouden met de vraag in welke mate of de golflengte van het licht de gevoeligheid (o.dr.) beïnvloedt. Zij komen in het algemeen tot de conclusie, dat deze invloed speciaal in de hogere helderheidsgebieden, waarmee we voor ons Röntgenologische probleem te maken zullen hebben, niet zeer groot is.

Aangezien echter bij de beoordeeling van Röntgenfoto's meermalen wordt gebruik gemaakt van gekleurde lichtkasten of gekleurde emulsies moeten we aan dezen factor wat meer aandacht schenken, waarom aan het einde van dit hoofdstuk de literatuur betreffende den invloed van dezen factor meer uitvoerig zal worden besproken.

If. Ruimtelijke verhoudingen, waarin de elementen worden beschouwd:

Ten gevolge van de beperking, die we ons op blz. 19 oplegden, waarbij we uitgingen van een „vereenvoudigd objectief beeld”, dat slechts bestaat uit een zeer uitgebreide achtergrond, waarop één helderheidselement foveaal wordt waargenomen, worden de ruimtelijke verhoudingen voorloopig slechts beheerscht door den gezichtshoek *g*, waaronder het te beoordeelen helderheidselement wordt gezien. Aan dezen factor zal dan ook aan het einde van dit hoofdstuk en in hoofdstuk III aandacht worden besteed. In hoofdstuk IV zullen we dit „vereenvoudigde objectieve beeld” moeten verlaten, waardoor de invloed van de ruimtelijke verhoudingen in meer uitgebreiden vorm zal moeten worden besproken.

Ig. Tijdelijke verhoudingen, waaronder de elementen worden beschouwd:

De grootte van de gevoeligheid (o.dr.) kan *simultaan* (d.w.z. de verschillende elementen zijn gelijktijdig in het gezichtsveld aanwezig) of *successief* (d.w.z. de elementen zijn niet gelijktijdig aanwezig) worden onderzocht. Verder kan het te beoordeelen helderheidselement momen-

taan, (d.w.z. gedurende een bepaalden korten tijd) of permanent, (d.w.z. gedurende een onbepaald langen tijd) worden beschouwd.

Voor theoretische beschouwingen betreffende het zien is een nauwkeurige kennis van den onderscheidingsdrempel onder al deze omstandigheden noodzakelijk. Voor ons Röntgenologische probleem echter kunnen twee van deze mogelijkheden geheel buiten beschouwing blijven. Bij de beoordeeling van een Röntgenfoto worden de beeldelementen steeds simultaan en min of meer permanent waargenomen. In onze verdere beschouwingen zullen we dus in hoofdzaak slechts aan deze twee condities onze aandacht hoeven te schenken. De andere twee mogelijkheden zullen slechts terloops ter sprake komen.

Ih. Invloed van de uitgangshelderheid B :

Voor ons probleem is de bestudeering van den invloed van de grootte van de uitgangshelderheid B op de gevoeligheid (o.dr.) $B/\Delta B$ van groot belang. Immers deze factor bepaalt o.a. de helderheid, die de achtergrond moet hebben, opdat een beeldelement, dat slechts weinig in helderheid van zijn achtergrond verschilt eventueel nog juist gezien zal kunnen worden.

Aan het einde van dit hoofdstuk zal dan ook de omvangrijke literatuur betreffende dezen factor worden besproken, terwijl in hoofdstuk III eigen experimenten betreffende dit vraagstuk zullen worden beschreven.

Ii. Algebraïsch teeken van ΔB ($B' > \text{of} < B$):

De waarde van ΔB kan positief of negatief zijn. Toegepast op ons „vereenvoudigde objectieve beeld” kunnen we zeggen dat de helderheid van het te beoordeelen element, grooter of kleiner kan zijn, dan die van den achtergrond. In de literatuur bestaat een opvallende neiging de laatste van deze beide mogelijkheden sterk te verwaarloozen ten opzichte van de eerste en zelfs bestaat een neiging a priori aan te nemen, dat bepalingen van den onderscheidingsdrempel onder deze twee condities resultaten zullen opleveren, die weinig van elkaar verschillen.

Dit behoeft echter geenszins het geval te zijn. v. St u d n i t z (146a) wijst er dan ook o.i. zeer terecht op, dat juist het bestaan van dergelijke overeenkomstige resultaten zeer moeilijk is te rijmen met de hedendaagsche photochemische opvattingen betreffende het zien.¹⁾

¹⁾ „Genau wie bei den verschiedenen Stadien der Dunkeladaptation bedarf es also zur Erzielung einer Minimalempfindung eines um so grösseren absoluten Intensitätszuwachses, je höher die bereits in der Sinneszelle vorhandene Konzentration von Erregungsstoffen ist. Diese ist bei höheren Adaptationshelligkeiten grösser als bei kleineren, genau wie sie es in früheren Stadien der Dunkeladaptation gegenueber

Voor ons Röntgenologische probleem is het scherp onderscheiden van deze twee mogelijkheden van veel belang. Immers in de Röntgenfoto zullen zoowel elementen voorkomen die helderder, als elementen die donkerder zijn dan hun omgeving. Bij de bespreking van de literatuur in § 3 van dit hoofdstuk zal dan ook aan dezen factor aandacht worden besteed.

Nadat we nu een overzicht hebben gegeven over de verschillende factoren, die de gevoeligheid (o.dr.) beïnvloeden zullen we in de volgende paragraaf nagaan, wat de literatuur ons omtrent den invloed van de belangrijkste factoren leeren kan. Daarbij zal het niet mogelijk blijken de in dit hoofdstuk gekozen volgorde van behandeling der verschillende factoren te handhaven. Om verwarring te vermijden zal echter de notatie Ia—Ii gehandhaafd blijven.

§ 2. *Literatuur betreffende den invloed van de verschillende hiervoor genoemde factoren op de grootte van de gevoeligheid (o.dr.).*

Er bestaat een zeer omvangrijke literatuur, waarin ons experimenteel materiaal wordt verschaft betreffende den invloed van de hiervoor vermelde factoren op de gevoeligheid (o.dr.). Een groot deel van de in deze literatuur vermelde gegevens is voor ons doel echter niet van direct belang.

Zooals wij reeds hiervoor uiteenzetten is het voor ons van het grootste belang experimenteele gegevens te bestudeeren, die verkregen zijn onder de meest elementaire condities. Aan deze voorwaarde voldoet nu het meerendeel van de in de literatuur vermelde gegevens niet. In het bijzonder geldt dit voor de ruimtelijke en de adaptatieve condities, waaronder de experimenten zijn verricht. Verder zijn voor ons doel vele van de in de literatuur vermelde gegevens niet bruikbaar in verband met het ontbreken van een goed reproduceerbare eenheid van objectieve helderheid. In het bijzonder geldt dit voor een groot deel van de oudere onderzoekingen. Bij onze literatuurbespreking zullen we slechts aan die experimenten aandacht besteden, die voor ons van direct belang zijn.

späteren ist. Die Konstanz von J/dJ besagt also nur, dass dJ um die gleichen relative Beträge wächst wie J . Für die Intensitätsverminderung dürfte entsprechendes nicht gelten, denn hohe Adaptationshelligkeiten = grosse Mengen von Zerfallsstoffen und kleine von Sehstoff müssen grade dessen Aufbau bei Herabsetzung von J um dJ stärker fördern als kleine Adaptationsintensitäten mit wenig Zersetzungsprodukte und viel Sehstoff. Streng theoretisch müsste hier also ein ständiger Abfall von dJ und damit ständiges wachsen von J/dJ von den niedrigen zu den hohen Intensitäten hin erwartet werden."

Hier volgt nu een overzicht van datgene wat de literatuur ons leert betreffende den invloed van de in § 1 van dit hoofdstuk vermelde factoren op de grootte van de gevoeligheid (o.dr.).

Ih. Invloed van de grootte van de uitgangshelderheid B op de grootte van de gevoeligheid (o.dr.).

Zooals reeds hiervoor is uiteengezet moeten we voor een onderzoek onder de meest elementaire condities, (die van het „vereenvoudigde objectieve beeld”), als eisch stellen, dat in het geheele objectieve gezichtsveld slechts twee elementen voorkomen.

Strikt genomen voldoet aan dezen eisch slechts één onderzoek en wel dat van Hertel (78).

Bij deze onderzoekingen kijkt de proefpersoon door de opening in den wand van een grooten bol naar de binnenzijde van den wand van dezen bol. Deze bolwand wordt verlicht via een aantal voor den proefpersoon onzichtbare openingen in den wand. Onder de hier geschetste verhoudingen mag men volgens de zoog. „wetten van Ulbricht” aannemen, dat de geheele bolwand een gelijkmatige helderheid heeft. Op dezen bolwand wordt nu een scherp begrensde lichtvlek geprojecteerd, waarvan de ruimtelijke constellatie wordt beschreven als een ring, waarvan het centrum samenvalt met het fixerpunt en die gezien wordt onder een gezichtshoek van 10° . (Er zijn redenen om aan te nemen, dat hier in het artikel een onduidelijkheid is ingeslopen en dat de in dit artikel vermelde resultaten zijn verkregen met een cirkelvormig begrensde lichtvlek onder een gezichtshoek van 2° , die op een andere plaats in het artikel wordt vermeld). Uitvoerige technische details van den gebruikten zoog. „Kugeladaptometer” zijn te vinden in een ander artikel (79). Bij deze experimenten werd nu de achtergrond beschouwd als het element (B) en de lichtvlek als element (B'), terwijl voor een zeer uitgebreid variatiegebied van B , ΔB werd bepaald. De resultaten (teruggerekend uit de gepubliceerde curven) zijn weergegeven in fig. 10, waarin op de abcis $\log B$ is uitgezet en op de ordinaat $B/\Delta B$. Men kan aannemen, dat bij deze experimenten het gezichtszintuig steeds volledig was geïmponeerd aan B . We zien uit figuur 10, dat bij het toenemen van $\log B$ $B/\Delta B$ aanvankelijk stijgt, om daarna constant te worden en constant te blijven tot de hoogste onderzochte waarden van $\log B$ zijn bereikt. Er rest ons nog te vermelden, dat bij deze onderzoekingen werd gewerkt met de intacte pupil, terwijl de waarnemingen simultaan en permanent werden verricht.

Deze experimenten zijn dus voor ons van zeer groot belang, aangezien

ze in bijna alle opzichten voldoen aan de eischen, die wij voor de bestudeering van ons probleem aan dergelijke experimenten moeten stellen, namelijk aan de eischen van het „vereenvoudigde objectieve beeld”.

Alle andere in de literatuur vermelde experimenten zijn verricht onder meer gecompliceerde condities. Voor ons doel zijn nog het meest bruikbaar die onderzoekingen, waarbij het element (B) wordt gevormd door een tamelijk uitgebreiden achtergrond, waarop het element (B') foveaal wordt waargenomen, hoewel het element (B'') gelegen om het element (B) reeds een complicatie beteekent.

De oudere onder deze condities verrichtte experimenten van Bouguer (11), Masson (115), Arago (4), Steinheil (141), Charpentier (20), Fechner (en Volkmann) (48), Aubert (6), Helmholtz (75), Müller—Lyer (121), Schirmer (135), Bull (14), Simon (138), Hering (77) e.a. hebben weliswaar veel bijgedragen tot de ontwikkeling van de kennis van de betreffende problemen, maar zijn toch voor onze analyse niet goed bruikbaar om verschillende redenen, waarvan de voornaamste is het ontbreken van een goed reproduceerbare helderheidseenheid en een andere de gecompliceerde ruimtelijke en adaptatieve factoren, waaronder deze experimenten werden verricht. Van deze onderzoekers is Aubert (6) de eerste geweest, die het belang van deze ruimtelijke en adaptatieve factoren scherp heeft geformuleerd en het is ook Aubert geweest, die duidelijk heeft aangetoond, dat de door Fechner (48) als „wet van Weber” aangeduide wet (die we hier weergeven in den vorm: $B/\Delta B = \text{constant}$ onafhankelijk van de grootte van B) geen algemeene geldigheid heeft (Fechner erkent echter, dat voor zeer lage en zeer hoge waarden van B deze wet niet geldt).

Wat de modernere onderzoekingen onder deze condities betreft, kunnen we voor een deel hiervan met een korte vermelding volstaan. Dit geldt voor de onderzoekingen van Garten (55), Blanchard (9), Carsten (17), Holladay (83), Holway (84) en wel om de volgende redenen: De onderzoekingen van Garten (55) hebben betrekking op successieve helderheidsveranderingen van den achtergrond en zijn dus voor ons doel niet bruikbaar; de onderzoekingen van Blanchard (9) zijn verricht onder condities, die het herberekenen van de resultaten bemoeilijken; Carsten (17) werkte onder ruimtelijk tamelijk ingewikkelde condities (het element (B) werd gevormd door ringen op een roteerende schijf); Holladay (83) verrichtte zijn experimenten voor een element (B'), gezien onder een zeer kleinen gezichtshoek, terwijl ΔB bij zijn onderzoekingen negatief

was; Holway (84) verrichtte zijn experimenten voor een element (B') gezien tegen een zeer kleinen achtergrond (element (B)), waardoor de invloed van het omgevende element (B'') wel zeer storend wordt.

Al deze onderzoeken leiden echter voor wit licht in principe tot hetzelfde resultaat:

Indien $\log B$ toeneemt en het gezichtsorgaan voortdurend aan B is geadapteerd, neemt $B/\Delta B$ aanvankelijk toe, om tenslotte min of meer constant te worden. Een daling van $B/\Delta B$ bij de hoogste waarden van $\log B$ werd niet gevonden. Hierbij moet echter worden opgemerkt, dat de hoogste onderzochte waarden van $\log B$ bij vele van deze onderzoeken niet zeer hoog zijn.

Tenslotte zijn onder de hier genoemde condities (element (B) gevormd door een tamelijk uitgebreiden achtergrond, waarop element (B') foveaal wordt waargenomen) experimenten verricht door Stiles (en Crawford) (29, 30, 142—146).

Deze schrijvers gebruikten evenals Hertel (78) een projectiemethode. De lichtvlek werd hier echter niet geprojecteerd op een bolwand, maar op den wand van een kubus, waarvan de overige wanden donker waren. De ruimtelijke condities zijn dus voor de bestudeering van ons probleem niet geheel ideaal, maar komen toch voor meer uitvoerige bespreking in aanmerking. Men moet aannemen, dat bij deze experimenten het gezichtsorgaan was geadapteerd aan de uitgangshelderheid B . In een eerste artikel (142) bepalen schrijvers $B/\Delta B$ voor waarden van B varieerende tusschen 0,0010 en 2,1 kaars/voet² en komen tot de conclusie, dat $B/\Delta B$ met toeneming van B aanvankelijk stijgt, om bij de hoogste onderzochte waarde (2,16 kaars/voet²) weer te gaan dalen. In een tweede artikel (145) blijkt echter uit de curven en de bespreking hiervan, dat de schr. aannemen, dat voor een waarde van B tusschen 0,001 en 500 kaars/voet² de betrekking geldt $\Delta B = f B$ (d.w.z. $B/\Delta B = \text{constant}$).

Er rest ons nu nog te bespreken een serie onderzoeken, die verricht werden onder condities, die ruimtelijk en adaptatief zoo gecompliceerd zijn, dat ze voor ons slechts zeer betrekkelijke waarde hebben. Dit zijn die onderzoeken, waarbij gewerkt werd met een veld, dat door een rechte scheidingslijn in twee helften werd verdeeld, waarbij nu de eene helft de functie van element (B) en de andere die van element (B') heeft. Het gehalveerde proefveld is dan omgeven door een derde element (B''), dat eventueel nog weer uiteenvalt in een eigenlijken achtergrond en een willekeurige omgeving (B'') en (B'''). Bij deze opstelling van de elementen is in de eerste plaats contrastbeïnvloeding te vreezen, terwijl

verder de adaptatieve condities onder deze omstandigheden zeer moeilijk te controleeren zijn; immers indien het oog tijdens het experiment een oogenblik zijn blikrichting wijzigt, komt het in de gelegenheid zich te adapteeren aan de helderheid van het element (B'').

In deze groep vallen de onderzoekingen van König en Brodhun (96, 98), Johansson en Petré (93), Blanchard (gedeeltelijk) (9), Houstoun (86—90), Lowry (108) e.a.

Een technisch voordeel dat deze onderzoeksmethode oplevert is het feit, dat het betrekkelijk kleine proefveld het onderzoek van zeer hoge waarden van B toelaat. Het onderzoek van König en Brodhun (98) kan als een klassiek voorbeeld van deze onderzoekingen worden beschouwd. Deze schrijvers komen tot het resultaat, dat $B/\Delta B$ bij het toenemen van $\log B$ aanvankelijk stijgt, om tenslotte een duidelijken top te bereiken, waarna $B/\Delta B$ weer zou gaan dalen. De adaptatieve condities zijn bij deze experimenten echter niet goed onder contrôle. Men moet aannemen, dat het oog van den waarnemer niet volledig, en dan nog slechts lokaal, aan de helderheid B was geadapteerd. Johansson en Petré (93) verrichtten hun onderzoekingen onder adaptatieve condities, die in principe lijnrecht staan tegenover die, die bij de meeste andere onderzoekingen worden nagestreefd. Zij verrichtten namelijk al hun experimenten voor momentane waarneming, nadat het gezichtsorgaan van tevoren steeds weer volledig aan een bepaalde constante helderheid was geadapteerd. Wij komen hierop bij de speciale bespreking van den invloed van de adaptatie op de gevoeligheid (o.dr.) nog nader terug. De experimenten van Blanchard (9) onder deze condities werden slechts verricht bij zeer lage helderheden. Houstoun (86—90) verrichtte zijn waarnemingen voor blauw en rood licht. Bij deze onderzoekingen is de adaptatieve toestand zeer weinig nauwkeurig gedefinieerd. Schr. meent namelijk, dat hij de adaptatie tijdens zijn experimenten „constant” houdt, door den proefpersoon in den tijd tusschen de waarnemingen op de afleesinstrumenten te laten kijken. Deze voorstelling is natuurlijk onjuist, rekening houdende met de groote snelheid, waarmede de adaptatieve processen verlopen. Men kan den adaptatieven toestand bij deze experimenten nog het beste beschrijven door te herhalen, wat hierover bij de bespreking van de experimenten van König en Brodhun (98) hierboven is gezegd. Bij de experimenten van Lowry (108) kunnen we aannemen, dat het oog ook onder de genoemde adaptatieve condities was. Alle hierboven genoemde onderzoekers komen, indien zij tenminste hun experimenten tot voldoende hoge waarde van $\log B$ voortzetten, tot de conclusie, dat de meening van

König en Brodhun (96, 98) juist is, dat bij het toenemen van $\log B$, $B/\Delta B$ aanvankelijk stijgt, om ten slotte een top te bereiken, waarna $B/\Delta B$ weer gaat dalen. Als voorbeeld noemen wij de curven van Houstoun (88, 89) voor een groot aantal proefpersonen, waarin het optreden van een top zeer duidelijk tot uiting komt. De aanwezigheid van een top in de curve is ook aangetoond door Nutting (123, 124). Het artikel, waarin deze zijn methodiek heeft beschreven hebben wij echter niet kunnen raadplegen, zoodat over zijn onderzoekcondities hier niets gezegd kan worden. Verder zou volgens een citaat van von Studnitz (146a) Abribat (1) ook hebben aangetoond, dat bij hoge waarden van B , $B/\Delta B$ gaat dalen. Belangrijker zijn de resultaten van Steinhardt (140) (op instigatie van Hecht). Deze bepaalde eveneens volgens de methode met een gehalveerd photometerveld de waarde van $B/\Delta B$ voor een zeer uitgebreid variatiegebied van B , terwijl verder de invloed van den gezichtshoek, waaronder het elementencomplex (BB') werd gezien binnen een zeer ruim gebied werd gevarieerd. Deze onderzoeker besteedt veel aandacht aan den invloed van de adaptatie. Er wordt zoo goed mogelijk op gelet, dat het gezichtsorgaan bij iedere bepaling tenminste lokaal volledig aan B is geadapteerd. Onder deze condities komt de schr. tot de conclusie, dat de door de hiervoor genoemde onderzoekers aangetoonde daling van $B/\Delta B$ bij hoge waarde van $\log B$ niet optreedt. Verder blijkt het resultaat in belangrijke mate afhankelijk te zijn van den gezichtshoek, waaronder de elementen worden waargenomen (zie hieronder). Tenslotte komt deze schrijver tot de conclusie, dat indien men „ $\log \Delta B/B$ ” (dus ook $\log B/\Delta B$) uitzet tegenover $\log B$, de curve duidelijk uiteenvalt (behalve voor zeer kleine proefvelden) in twee afzonderlijke stukken, in overeenstemming met de theoretische photochemische opvattingen van Hecht, die dit uiteenvallen van de curve verklaart met behulp van de zoog. dupliciteitstheorie (waarin gezegd wordt, dat bij het zien twee mechanismen een rol spelen, n.l. een skotoptisch mechanisme gezeteld in de staafjes en een photoptisch mechanisme gezeteld in de kegeltjes van het netvlies).

Indien we nu samenvatten, wat de literatuur ons leert omtrent den invloed van de grootte van B (of $\log B$) op de grootte van de gevoeligheid (o.dr.) $B/\Delta B$, dan kunnen we vaststellen, dat alle onderzoekers het erover eens zijn, dat, indien het gezichtsorgaan volledig is geadapteerd aan de helderheid B , $B/\Delta B$ bij het toenemen van $\log B$ van zeer lage waarden af geleidelijk toeneemt. Over het verdere gedrag van de waarde van $B/\Delta B$ bestaat echter oneenigheid. Terwijl die onderzoekers, die uit-

gaan van methoden, waarbij het element (B) wordt gevormd door een min of meer uitgebreiden achtergrond allen tot de conclusie komen, dat $B/\Delta B$ tenslotte constant wordt en blijft, meent het grootste deel van die onderzoekers, die hun experimenten hebben verricht met behulp van gehalveerde photometervelden, waarbij de helften van het veld fungeerden als het elementencomplex (B'), dat de waarde van $B/\Delta B$ een maximum bereikt, om tenslotte weer te gaan dalen. Weliswaar komt één van hen, Steinhardt (140), die den adaptatietoestand het best controleerde tot de conclusie, dat deze daling niet plaats heeft, maar toch moeten we, vooral in verband met het feit, dat bij de onderzoeken met gehalveerde photometervelden dikwijls zeer hoge waarden van B zijn bereikt de mogelijkheid, dat $B/\Delta B$ bij hoge waarden van B zou gaan dalen onder de oogen zien.

If. Invloed van de ruimtelijke verhoudingen waaronder de elementen worden beschouwd op de gevoeligheid (o.dr.).

Ifa. Algemeene ruimtelijke constellatie.

In de voorafgaande beschouwingen is reeds meerdere malen de invloed van de algemeene ruimtelijke constellatie der beeldelementen ter sprake gekomen. De eenvoudigste ruimtelijke condities zijn aanwezig onder de voorwaarden van het objectieve beeld, dat we op blz. 19 aanduiden als „vereenvoudigd objectief beeld”, waarbij één objectief element foveaal wordt waargenomen op een achtergrond, die het geheele gezichtsveld vult.

Zooals we reeds vermeldde is de eenige onderzoeker, die deze condities experimenteel benaderd heeft Hertel (78). Alle andere onderzoekers hebben bij hun experimenten met meer gecompliceerde ruimtelijke condities te maken gehad. Het best vergelijkbaar met de constellatie, die we bij het „vereenvoudigde objectieve beeld” aantreffen is nog de constellatie, die zich voordoet indien een element wordt beschouwd op een tamelijk uitgebreiden achtergrond, die als element (B) fungeert, terwijl zich daaromheen een achtergrond van willekeurige uniforme helderheid bevindt (element (B'')). Bij de meeste onderzoekers is $B'' = \text{ong. } 0$. Dit zijn de condities die we aantreffen bij de onderzoeken van Stiles en Crawford (29, 30, 142—146). In het algemeen krijgt men uit de literatuurgegevens den indruk, dat de aanwezigheid van een element (B'') van het hier geschetste type de waarde van de gevoeligheid (o.dr.) in ongunstigen zin beïnvloedt, onafhankelijk van de vraag of de helderheid B'' kleiner of grooter is dan B .

Veel ingewikkelder zijn de condities, waar we mee te maken krijgen

bij die experimenten, waarbij de elementen (B) en (B') worden gevormd door de beide helften van een photometerveld, terwijl zich om dat photometerveld een achtergrond (element (B'')) bevindt, die op zijn beurt weer kan bestaan uit meerdere deelen (element (B''), (B''') enz.). De situatie is onder deze omstandigheden niet alleen meer gecompliceerd tengevolge van de aanwezigheid van deze bijkomstige elementen, maar ook door de omstandigheid, dat de scheidingslijn tusschen element (B) en (B'), waarvan de al of niet zichtbaarheid geconstateerd moet worden, wordt afgebeeld op netvlieselementen met zeer verschillende excentriciteit van de fovea uit gerekend. (Men moet er echter op bedacht zijn, dat onder de condities van het „vereenvoudigde objectieve beeld” ook niet altijd de scheidingslijn precies zal worden afgebeeld op netvlieselementen met dezelfde excentriciteit, aangezien het niet mogelijk is de fixatie voortdurend onbeweeglijk op het centrum van het element (B') gericht te houden, maar in ieder geval is toch onder deze condities aan deze voorwaarde in veel hoogere mate voldaan).

Nog veel gecompliceerder wordt de situatie, indien zich in het gezichtsveld bijzondere elementen bevinden, die in helderheid sterk van hun omgeving verschillen. Dergelijke bijzondere elementen worden in de Engelsche literatuur dikwijls aangeduid als „glare sources”. Deze condities zijn voor ons probleem van belang. In de Röntgenphoto van de thorax bijv. zal de hartschaduw bij het bezien van details in de longteekening de rol van „glare source” vervullen. We zullen daarom in dit hoofdstuk onder *Ifc* de literatuur aangaande den invloed van „glare sources” bespreken.

Indien we nu echter weer terugkeeren tot de omstandigheden van het „vereenvoudigde objectieve beeld” blijkt, dat onder deze condities de eenige variatie in de ruimtelijke condities gevonden kan worden in de variatie van den gezichtshoek, waaronder het element (B') wordt gezien. We zullen dus nu aan dezen factor onze aandacht schenken.

Ifb. Invloed van den gezichtshoek, waaronder het element (B') wordt gezien op de gevoeligheid (o.dr.).

De eerste onderzoeker, die duidelijk gewezen heeft op den invloed, die de gezichtshoek, waaronder een helderheidselement wordt gezien uitoefent op de gevoeligheid (o.dr.) is A u b e r t (6) geweest.

Onder de condities, die wij hebben aangeduid als „vereenvoudigd objectief beeld” zijn voor zoover ons bekend geen experimenten verricht ter bestudeering van dezen invloed. De eenige onderzoeker, die onder deze condities heeft gewerkt is, zooals we reeds eerder opmerkten

Hertel (78). Deze heeft echter al zijn bepalingen verricht voor één bepaalden gezichtshoek.

Meerdere onderzoekers hebben den invloed van den gezichtshoek op de gevoeligheid (o.dr.) bestudeerd voor een element, dat werd waargenomen op een tamelijk uitgebreiden achtergrond, die als element (B) fungeerde, terwijl zich daaromheen een willekeurig element (B'') bevond.

Hiertoe behooren de onderzoekingen van Aubert (6), Charpentier (18—20), Guillery (58), Simon (138), Karrer en Tyndall (94). Uit deze onderzoekingen, die in het algemeen bij lage waarden en een zeer kleine variatiebreedte van B verricht zijn kan men de conclusie trekken, dat de gevoeligheid bij het toenemen van den gezichtshoek aanvankelijk stijgt, om tenslotte min of meer constant te worden. Over de waarde van den gezichtshoek, waarbij de gevoeligheid constant zou worden zal aan het eind van hoofdstuk III nog gesproken worden. In verband met later te bespreken resultaten van eigen experimenten is het van belang hier op te merken, dat Simon (138) vindt, dat de gevoeligheid bij toeneming van den gezichtshoek onder bepaalde voorwaarden toeneemt, maar tenslotte een top bereikt (bij $15'$ — $30'$) om daarna weer te gaan dalen.

De onderzoekingen van Heinz en Lippay (73, 74) en van Holway en Hurvich (85) zijn voor ons niet van veel belang, aangezien hierbij de onderscheidingsdrempel voor successieve helderheidsverandering werd bestudeerd. Overigens spreken hun resultaten die van experimenten met simultane waarnemingscondities niet tegen.

De onderzoekingen van Wilcox en Purdy (155) houden zich slechts bezig met zeer kleine gezichtshoeken (practisch puntvormige elementen) en kunnen ons dus ook omtrent het verband tusschen gezichtshoek en gevoeligheid (o.dr.) weinig leeren.

Verder is de invloed van den gezichtshoek ook bestudeerd onder die condities, waarbij de elementen (B) en (B') worden gevormd door de beide helften van een photometerveld. In dit verband vermelden wij de onderzoekingen van Lasareff (103), Houstoun (87—90) en Steinhardt (140).

Hoewel dit type onderzoekingen in verband met de gecompliceerde ruimtelijke constellatie voor ons doel slechts van indirect belang is moeten we toch speciaal aan de onderzoekingen van Steinhardt in verband met hun veelomvattend karakter eenige aandacht schenken. Steinhardt (140) onderzocht den invloed van de grootte van de uitgangshelderheid B op de gevoeligheid $B/\Delta B$ voor verschillende gezichtshoeken van het photometerveld. Zijn zeer omvangrijk materiaal maakt het ons

nu mogelijk den invloed van den gezichtshoek op de gevoeligheid bij zeer verschillende waarden van *B* te onderzoeken.

Aangezien hier echter in iedere zitting slechts voor één bepaalde grootte van den gezichtshoek werd onderzocht kan het materiaal ten opzichte van den gezichtshoek niet als „homogeen” worden beschouwd. Uit deze onderzoekingen krijgt men nu eveneens den indruk, dat bij iedere waarde van *B* de gevoeligheid (o.dr.) bij het toenemen van de grootte van den gezichtshoek geleidelijk toeneemt, om tenslotte min of meer constant te worden. We komen hierop aan het eind van hoofdstuk III nog nader terug.

Ifc. De invloed van bijzondere elementen in het gezichtsveld op de gevoeligheid (o.dr.).

Wat betreft den invloed van bijzondere elementen in het gezichtsveld zijn voor ons in het bijzonder die experimenten van belang, waarbij de invloed van een „glare source” op de gevoeligheid (o.dr.) werd nagegaan. Het zal duidelijk zijn, dat het aantal variabele factoren hierbij zeer groot wordt; immers we kunnen variëren den meridiaan en de excentriciteit van de „glare source”, de uitbreiding van de „glare source”, het helderheidsverschil tusschen „glare source” en achtergrond en verder alle factoren, die hiervoor reeds besproken zijn. Om in deze zeer gecompliceerde verhoudingen eenige orde te scheppen hebben de schrijvers, die zich met deze vraagstukken bezig hebben gehouden n.l. Luckiesh en Holladay (109), Stiles en Crawford (30, 142, 146), Blanchard (9) getracht den (in het algemeen) nadeeligen invloed, dien een „glare source” op de gevoeligheid heeft op een overzichtelijke manier weer te geven. Deze pogingen hebben geleid tot de zoog. „aequivalent background hypothesis”, waarover we in § 3 van dit hoofdstuk nog eenige opmerkingen zullen maken.

Op het belangrijke proefschrift van Schouten (136a), waarin deze tracht met behulp van een binoculaire methode de hier geschetste problemen te benaderen, kunnen we hier helaas niet nader ingaan.

Ifd. Invloed van beweging van het element in het gezichtsveld op de gevoeligheid (o.dr.).

Reeds voor Fechner (48) heeft men er de aandacht op gevestigd, dat een element gemakkelijker wordt herkend, indien het in het objectieve gezichtsveld wordt bewogen (beweging treedt natuurlijk ook op, indien bij stilstaand element de blikrichting wordt gewijzigd) m.a.w. dat de gevoeligheid (o.dr.) onder deze conditie toeneemt. En alle latere auteurs,

die zich met dit vraagstuk hebben bezig gehouden zijn het dan ook over dit feit eens. Voor ons probleem is deze quaestie van belang. Immers bij de beoordeeling van een Röntgenphotogram zal in het algemeen de blik niet voortdurend op een element rusten. Exacte metingen aangaande dezen invloed zijn echter technisch niet goed uitvoerbaar, aangezien we bij dergelijke metingen een vergelijking zouden moeten maken tusschen de resultaten bij volledige rust van het element in het gezichtsveld en die bij beweging. Aangezien echter een toestand van volkomen strakke fixatie physiologisch niet te verwezenlijken is, zal door deze omstandigheid steeds een groote onzekerheid blijven bestaan.

1a. Invloed van den adaptatietoestand op de gevoeligheid (o.dr.).

Wat den invloed van de adaptatie op de gevoeligheid (o.dr.) betreft is weer A u b e r t (6) de eerste geweest, die de beteekenis van dezen factor scherp heeft ingezien.

Meer exact werd het probleem onderzocht door J o h a n s s o n en P e t r é n (93). Deze onderzoekers onderscheiden scherp twee mogelijkheden, n.l. één, waarbij het oog steeds volledig is geadapteerd aan de uitgangshelderheid B en een andere, waarbij het oog niet is geadapteerd aan B , maar aan een andere helderheid. Zij onderzochten nu deze beide mogelijkheden en komen tot de conclusie, dat slechts indien het oog geheel geadapteerd is aan B , $B/\Delta B$ binnen een tamelijk uitgebreid variatiegebied van B constant blijft.

Onder de condities van het „vereenvoudigde objectieve beeld” zijn geen experimenten betreffende den invloed van de adaptatie verricht. Het standaard-experiment van H e r t e l (78) betreft slechts de mogelijkheid, waarbij het gezichtszintuig voortdurend aan B is geadapteerd.

Ons interesseert nu in het bijzonder de vraag in welke mate het feit, dat het oog niet is geadapteerd aan B de gevoeligheid beïnvloedt.

In dit verband zijn in het bijzonder de experimenten van C r a w f o r d (29) vermeldenswaardig. Deze bestudeerde het gedrag van ΔB_2 , terwijl het gezichtsorgaan, dat aanvankelijk aan een helderheid B_1 is geadapteerd plotseling wordt blootgesteld aan een nieuwe helderheid B_2 en wel voor het geval, dat B_2 kleiner is dan B_1 dus voor donkeradaptatie. Uit zijn curven zien we, hoe ΔB_2 tijdens dit donkeradaptatieproces begint te dalen, om tenslotte constant te worden. Het moment, waarop ΔB_2 constant wordt kunnen we beschouwen als het moment, waarop het gezichtszintuig volledig aan B_2 is geadapteerd. Schrijver analyseert zijn uitkomsten met behulp van de reeds eerder genoemde en aan het einde van dit hoofdstuk te bespreken „aequivalent background hypothesis”.

Aangezien deze experimenten zijn verricht onder condities, die de voorwaarden van het „vereenvoudigde objectieve beeld” eenigszins benaderen (n.l. voor een element gezien op een tamelijk uitgebreiden achtergrond, moeten we aan deze experimenten veel aandacht schenken. De bespreking van de quantitative resultaten zal uitgesteld worden tot aan het eind van hoofdstuk III.

Verder moeten hier vermeld worden de experimenten van Wright (157). Deze werkte met een gehalveerd photometerveld omgeven door een tamelijk uitgebreid veld, dat als adaptatieveld dienst deed en onderzocht nu hoe ΔB_2 zich gedroeg direct na overgang van een helderheid B_1 op een helderheid B_2 . Hij kwam tot de conclusie, dat het niet geadapteerd zijn in het gebied van de hogere helderheden (dus van het photoptisch zien) weinig invloed had op de grootte van ΔB_2 , maar dat in het gebied van het scotoptisch zien deze invloed aanzienlijk groter werd.

Verder verwijzen we naar datgene wat in dit hoofdstuk sub Ih is vermeld betreffende de experimenten van König en Brodhun (96, 98), Hering (77), Carsten (17), Houstoun (86—90), voor zoover dit betrekking heeft op den invloed van de adaptatie op de gevoeligheid (o.dr.).

Wat betreft het geval, dat B_2 groter is dan B_1 , d.w.z. voor lichtadaptatie vermelden we hier vooral de experimenten van Lohmann (106). Deze vervolgde, nadat het oog eerst aan een lagere helderheid B_1 was geadapteerd, het gedrag van ΔB_2 tijdens de adaptatie aan B_2 . Dergelijke bepalingen zijn zeer moeilijk, in verband met het feit, dat de lichtadaptatie buitengewoon veel sneller verloopt dan de donkeradaptatie. De quantitative resultaten van Lohmann zullen aan het einde van hoofdstuk III ter sprake komen. In principe voeren deze experimenten echter tot hetzelfde resultaat, als die betreffende de donkeradaptatie. ΔB_2 daalt tijdens het adaptatieproces (en $B_2/\Delta B_2$ stijgt dus), om tenslotte constant te worden.

Samenvattende kunnen we, wat betreft den invloed, van den adaptatietoestand op de gevoeligheid zeggen, dat in het algemeen het niet geadapteerd zijn aan de uitgangshelderheid B een ongunstigen invloed schijnt te hebben op de gevoeligheid (o.dr.) en dat deze invloed zich tijdens het donkeradaptatieproces veel langer doet gelden, dan tijdens het lichtadaptatieproces. Aangezien echter experimenten betreffende den invloed van den adaptatietoestand op de gevoeligheid (o.dr.) onder de condities van het „vereenvoudigde objectieve beeld” ontbreken hebben wij getracht dit hiaat aan te vullen door een aantal eigen experimenten,

waarvan de resultaten in hoofdstuk III zullen worden vermeld. Aan de hand daarvan hopen we dan nog op de belangrijkste literatuur wat meer uitvoerig terug te komen.

Ie. Invloed van de energieverdeeling in het spectrum van het licht op de gevoeligheid (o.dr.).

De bestudeering van den invloed, die de energieverdeeling van het licht uitoefent op de gevoeligheid wordt in hooge mate bemoeilijkt door het feit, dat we niet beschikken over een zekere methode voor vergelijking van de objectieve helderheid van twee lichtbronnen, waarvan de energieverdeeling in het spectrum (golflengte) verschillend is.

In principe staan ons voor deze vergelijking twee mogelijkheden ter beschikking. In de eerste plaats kunnen we de helderheid van twee lichtbronnen gelijk noemen, onverschillig welke golflengte ze hebben, indien ze dezelfde helderheid hebben in zoog. absolute eenheden (zie blz. 25). De helderheid is dan op een energetische basis gefundeerd. Deze principieel zeer exacte methode heeft echter voor physiologische doeleinden een zeer groot bezwaar, dat hierin is gelegen, dat de gevoeligheid van het gezichtszintuig in de verschillende gebieden van het spectrum zeer verschillend is. In de tweede plaats kunnen we twee objectieve helderheden gelijk noemen, indien ze in het bewustzijn van den waarnemer een gelijke helderheidssensatie veroorzaken. Onder deze condities zou men dan de beide lichtbronnen als physiologisch gelijk helder kunnen beschouwen. Hier komt nu echter een groote moeilijkheid. We moeten ons n.l. afvragen, welke van de vele methoden ter bepaling van de gevoeligheid van het gezichtsorgaan als criterium moet dienen. Principieel komt daarbij in de eerste plaats de directe helderheidsvergelijking van de beide lichtbronnen in aanmerking. Hiermee betreden we het terrein van de zoog. heterochrome photometrie. Inderdaad is een simultane helderheidsvergelijking van twee lichtbronnen, die in spectrale energieverdeeling slechts weinig van elkaar verschillen experimenteel mogelijk. Indien het verschil echter grooter wordt is deze methode zeer onnauwkeurig zoo niet onmogelijk. Men heeft getracht deze moeilijkheid op te lossen met behulp van kunstgrepen. Als de belangrijkste daarvan kan de zoog. flikkerphotometrie worden beschouwd. Deze berust echter op een theoretisch niet geheel onaanvechtbare basis.

Maar afgezien van het feit, dat we niet beschikken over een algemeen aanvaardbare methode voor heterochrome photometrie blijft de vraag open, of lichtbronnen, die op grond van één dezer methoden als physiologisch gelijkwaardig beschouwd kunnen worden, nu ook gelijkwaardig

zijn in betrekking tot metingen van den onderscheidingsdrempel. Vele onderzoekers zijn inderdaad van de gedachte uitgegaan, dat men de resultaten van heterochrome photometrische bepalingen kan toepassen op de bestudeering van andere verschijnselen. Dit heeft geleid tot de opstelling van zoog. standaardcurven van de gevoeligheid van het gezichtszintuig voor monochromatisch licht van verschillende golflengten.

Verschillende onderzoekers hebben getracht na te gaan, of de invloed, die de uitgangshelderheid B op de gevoeligheid (o.dr.) $B/\Delta B$ uitoefent verschillend is voor monochromatisch licht van verschillende golflengte.

De oudere onderzoekingen van Dobrowolski (38—40), Lamanski (101, 102), Bohn (10) en andere onderzoekers zijn voor ons probleem van weinig waarde, aangezien hierbij niet gezorgd is, dat de verschillende onderzochte kleurgebieden physiologisch gelijkwaardig waren en evenmin dat deze op een zuiver energetische basis waren gebaseerd. Onderzoekingen onder de condities van het „vereenvoudigde objectieve beeld” zijn ons niet bekend.

Van belang zijn echter de onderzoekingen van König en Brodhun (96, 98). Deze onderzoekers verrichtten een groote serie bepalingen betreffende den invloed van de uitgangshelderheid B op de gevoeligheid (o.dr.) gebruik makende van een gehalveerd photometer-veld voor een aantal verschillende monochromatische spectraalgebieden (96) en voor wit licht (98).

Zij komen tot de conclusie, dat in de hogere helderheidsgebieden de golflengte van het licht geen invloed heeft op de gevoeligheid (o.dr.), dat daarentegen bij lagere helderheden (in het gebied van het scotoptisch zien) de gevoeligheid (o.dr.) voor blauw licht relatief gunstiger is dan voor rood. Hierbij moet echter worden opgemerkt, dat de éénheid van helderheid voor de verschillende spectraalgebieden bij deze onderzoekingen blijkbaar was gebaseerd op heterochrome photometrie bij betrekkelijk hoge helderheden. Nu is echter bekend, dat bij het scotoptisch zien de gevoeligheid voor blauw — gebaseerd op heterochrome photometrische bepalingen — grooter is dan die voor rood („verschijnsel van Purkinje”).

Durup en Piéron (42) hebben daarom bij lage helderheden dit onderzoek herhaald, waarbij echter zorg werd gedragen, dat bij ieder helderheidsniveau de te vergelijken spectraalgebieden van te voren met behulp van heterochrome photometrische bepalingen gelijkwaardig waren gemaakt.

Aangezien, zooals in hoofdstuk IV zal worden betoogd voor ons

probleem het gebied van het scotoptisch zien slechts weinig belang heeft, behoeven we op de resultaten van dit onderzoek hier niet in te gaan. Wel belangrijk voor de problemen, die ons hier bezig houden is echter de vraag, of de meening van König en Brodhun, dat bij hogere helderheden de kleur van het licht geen invloed zou hebben op de gevoeligheid (o.dr.), juist is.

Deze meening wordt in zekeren zin gesteund door de metingen van Houston (87—90) voor rood en blauw licht, die slechts zeer onbeduidende verschillen vindt. Daarentegen komen Stiles en Crawford (144) onder tamelijk ingewikkelde experimenteele ruimtelijke condities tot de conclusie, dat de gevoeligheid (o.dr.) over het geheele spectrum voor monochromatisch licht bepaald drie maxima zou vertoonen, n.l. bij $0,44 \mu$, $0,54 \mu$ en $0,6 \mu$. In verband met de zeer gecompliceerde constellatie van de elementen kunnen we aan dit resultaat in betrekking tot ons probleem weinig waarde toekennen, vooral ook, omdat we hier te maken hebben met onderscheidingsdrempelbepalingen van een gekleurd veld tegenover een wit veld, of bij een deel van de onderzoeken zelfs tegenover een lichtloos veld, waarbij dus eigenlijk de absolute drempel wordt gemeten.

Helaas zijn de onderzoeken van Hecht, Peskin en Patt (71) ons slechts onvoldoende bekend uit een zeer kort gehouden vergaderingsverslag (71). (Het betreft hier blijkbaar momentane onderscheidingsdrempelbepalingen, waarbij het element (B') wordt gezien onder een hoek van 12°).

Samenvattende kunnen we wat betreft den invloed van de energieverdeeling in het spectrum van het licht op de gevoeligheid (o.dr.) uit de ter beschikking zijnde literatuur concluderen, dat deze invloed in de hogere helderheidsgebieden (die voor ons probleem van belang zijn), zeker niet groot is. De metingen bij lage helderheden worden zoozeer beheerscht door de te aanvaarden basis voor de helderheidsvergelijking van de verschillende lichtsoorten, dat ze voor ons doel geen bruikbare resultaten verschaffen.

1c. Oppervlakte van de effectieve pupil.

Het oppervlak (zie blz. 35) van de effectieve pupil beïnvloedt de resultaten slechts in zooverre, dat de helderheid van het retinabeeld er door wordt gewijzigd. De grootte van B en van ΔB worden wat betreft het retinabeeld echter in geheel gelijke mate door dezen factor gewijzigd, waardoor de gevoeligheid (o.dr.) door dezen factor niet wordt gewijzigd.

Aangezien bij de beoordeeling van Röntgenphotogrammen in het algemeen met intacte pupil zal worden gewerkt kunnen wij die experimenten, waarbij met intacte pupil wordt gewerkt voor ons doel direct gebruiken. Indien echter bijvoorbeeld door het aanbrengen van een kunstmatige pupil de experimenteele condities worden gewijzigd, moeten we met deze wijziging rekening houden (op blz. 35 vermeldde we reeds, dat dit niet op exacte wijze mogelijk is). Indien we echter onze experimenten verrichten met het doel daaruit conclusies te trekken betreffende de processen, die zich in de retina afspelen, moeten we juist uitgaan van experimenten, waarbij bijv. door het inschakelen van een kunstmatige pupil de invloed van de pupilwijdte is uitgeschakeld. Bij experimenten, waarbij dit niet is geschied moeten we dus juist in dit geval onze resultaten trachten om te rekenen op die voor een pupil van constant oppervlak.

li. Algebraïsch teeken van ΔB ($B' >$ of $< B$).

Op blz. 38 zetten we uiteen, dat het voor de bestudeering van ons probleem van veel belang is in hoeverre het algebraïsch teeken van ΔB , d.w.z. de vraag of B' groter of kleiner is dan B de gevoeligheid (o.dr.) beïnvloedt. De eenige systematische onderzoeken betreffende deze factor, die ons bekend zijn, zijn die van Holway (84), waarover we reeds eerder (blz. 42 hebben gesproken. Deze bepaalde voor een veld gezien op een zeer weinig uitgebreiden achtergrond den invloed van B op de gevoeligheid (o.dr.) $B/\Delta B$ en kwam tot de conclusie, dat het gedrag van $B/\Delta B$ practisch onafhankelijk is van de vraag of B' groter of kleiner is dan B . (Op blz. 42 vermeldde we reeds een citaat van von Studnitz, waaruit blijkt, dat dit resultaat moeilijk in overeenstemming is te brengen met de photochemische opvattingen omtrent de processen, die zich in de retina afspelen).

§ 3. Pogingen tot mathematische interpretatie van de experimenteele resultaten.

Een groot aantal van de in § 2 genoemde onderzoekers hebben getracht hun resultaten in een of anderen mathematischen vorm te gieten. Indien dit mogelijk zou zijn, zou het de bestudeering van de problemen, die ons hier bezig houden vanzelfsprekend zeer vergemakkelijken.

Zoo zijn een groot aantal pogingen aangewend, om den invloed, die de uitgangshelderheid B op de gevoeligheid $B/\Delta B$ heeft in een mathematische vergelijking onder te brengen.

De oorspronkelijke opvatting van F e c h n e r, dat binnen een groot helderheidsgebied $B/\Delta B$ constant is

$$B/\Delta B = c$$

bleek na de uitvoerige experimenten van K ö n i g en B r o d h u n (98) onhoudbaar te zijn. Toch heeft men zeer lang vastgehouden aan de opvatting, dat deze vergelijking, mits het oog geheel aan B is geadapteerd, bij benadering de werkelijkheid weergeeft, terwijl men heeft getracht de afwijkingen van deze wet te verklaren door compliceerende factoren (eigen licht van de retina bij lage helderheden, verblinding bij hoge helderheden).

H o u s t o u n (86—90) komt tot de conclusie, dat de resultaten van K ö n i g en B r o d h u n (96, 98) en van hem zelf geheel tot dekking zijn te brengen met een waarschijnlijkheidscurve, waarvan de vergelijking zou luiden:

$$B/\Delta B = e^{-\frac{(\log B)^2}{2}}$$

(waarin e = het transcendente getal, dat o.a. het grondtal van het systeem der natuurlijke logaritmen vormt).

Zooals echter in § 2 is uiteengezet moeten we aannemen, dat juist bij de experimenten van K ö n i g en B r o d h u n en van H o u s t o u n adaptatieve factoren de resultaten sterk hebben beïnvloed, waardoor de daling van de gevoeligheid bij hoge helderheden hier zeer evident wordt. Neemt men met andere onderzoekers aan, dat een dergelijke daling bij hogere waarden van B (of $\log B$) niet plaats heeft, dan vervalt daarmee de geldigheid van een dergelijke mathematische interpretatie.

De best gefundeerde pogingen om de experimenteele resultaten in mathematischen vorm weer te geven zijn die van H e c h t en zijn school (59—71, 140).

Deze komt tot de conclusie, dat indien men „log” $\Delta B/B$ (men kan dit eenvoudig omrekenen voor $\log B/\Delta B$) uitzet tegenover $\log B$ de curve duidelijk uiteenvalt in twee deelen, die volgens H e c h t, die een overtuigd aanhanger is van de dupliciteitstheorie overeen zouden komen met staafjesfunctie (bij lage helderheden) en kegeltjesfunctie (bij hoge helderheden). Op grond van photochemische beschouwingen leidt hij nu vergelijkingen af, waarvan de graphische weergave volkomen tot dekking is te brengen met de experimenteele resultaten. Deze vergelijkingen zijn voor de mensch:

$$\Delta B/B = c (1 + 1/KB) \text{ voor de staafjesfunctie}$$

$$\Delta B/B = c [1 + (1/KB)^{0.5}]^2 \text{ voor de kegeltjesfunctie.}$$

Hierin zijn c en k constanten.

De door deze schrijvers ten bewijze aangevoerde curven zijn inderdaad zeer overtuigend.

Voor een eventuele toepassing van deze resultaten in verband met de problemen die ons hier interesseeren moeten we er de aandacht op vestigen, dat deze betrekkingen in ieder geval slechts geldigheid hebben indien we vooropstellen, dat het effectieve pupiloppervlak constant wordt gehouden en dat het gezichtszintuig steeds volledig is geadapteerd aan de uitgangshelderheid B .

Wat betreft den invloed, die de gezichtshoek, waaronder het element (B') wordt beschouwd, op de gevoeligheid uitoefent, moeten we hier de meening van Holway en Hurwich (85) vermelden. Deze schrijvers komen tot de conclusie, dat $\log 1/\Delta B$ (en ook $\log B/\Delta B$) bij ieder helderheidsniveau recht evenredig zou zijn met de logarithme van het oppervlak van het retinabeeld:

$$\log 1/\Delta B = k \log (\text{retinal area})$$

Hierbij moet worden opgemerkt, dat deze onderzoeken zich uitstrekken over waarden van B tusschen 0,00625 en 5000 asb en over gezichtshoeken van 10° — 50° 17'.

Op de pogingen van Charpentier (20), Reeves (129) e.a. tot het verkrijgen van een mathematische betrekking tusschen gezichtshoek en gevoeligheid (o.dr.) zullen we hier niet nader ingaan, aangezien deze onderzoeken een te klein variatiegebied van uitgangshelderheid of gezichtshoek omvatten.

Tenslotte nog een enkel woord over de hiervoor reeds genoemde „*aequivalent background hypothesis*”, die o.a. is uitgewerkt door Stiles en Crawford (29, 30, 142, 143, 146). Met behulp van deze hypothese trachten deze schrijvers vereenvoudiging aan te brengen in de definitie van den invloed, die verschillende compliceerende omstandigheden op de grootte van den onderscheidingsdrempel uitoefenen. Om duidelijk te maken, hoe deze hypothese wordt toegepast zullen we een toepassing daarvan bespreken.

Indien men zich de vraag voorlegt, welken invloed een puntvormige heldere lichtbron in het gezichtsveld (een zoog. „glare source”) op de grootte van den onderscheidingsdrempel uitoefent kan men de onder deze condities verkregen waarde van den onderscheidingsdrempel vergelijken met de gegevens, die men heeft verkregen door bepaling van

den onderscheidingsdrempel tegenover een uniform helderen achtergrond bij volledige adaptatie daaraan. Die achtergrondshelderheid, die tot dezelfde waarde van den onderscheidingsdrempel voert, als die welke gevonden is onder de bijzondere conditie (met „glare source” in het gezichtsveld) wordt aangeduid als „aequivalent background brihtness”.

Op deze wijze definieert *Stiles* (142) den invloed, die een dergelijke „glare source” op de grootte van den onderscheidingsdrempel uitoefent als volgt:

$$\beta = B + \sum \frac{k E}{\vartheta^n}$$

waarin

β = „aequivalent background brightness”

B = „actual background brightness”

E = Verlichtingssterkte van de pupil van den proefpersoon veroorzaakt door de „glare source”

ϑ = gezichtshoek, waaronder „glare source” en proefveld ten opzichte van elkaar worden beschouwd.

k en n = constanten

$\sum$ duidt aan, dat summatie voor meerdere „glare sources” geoorloofd is.

Het groote voordeel van deze hypothese is hierin gelegen, dat de invloed van zeer gecompliceerde factoren op deze wijze zeer eenvoudig kan worden uitgedrukt in de helderheid van de „aequivalent background”. Op deze wijze slaagt *Crawford* (29) er nu ook in den invloed van het niet geadapteerd zijn aan de uitgangshelderheid B uit te drukken in de helderheid van de „aequivalent background”, die bij volledige adaptatie van den proefpersoon daaraan tot dezelfde waarde van den onderscheidingsdrempel zou voeren. Evenwel valt een volledige uiteenzetting van deze voor de toekomst waarschijnlijk zeer belangrijke hypothese buiten het bestek van dit proefschrift. Wij verwijzen daarom den belangstellenden lezer naar de desbetreffende literatuur.

§ 4. Slotbeschouwing.

In hoofdstuk II werden de factoren besproken, die de gevoeligheid (o.dr.) van het gezichtszintuig beïnvloeden, waarna een kort overzicht werd gegeven van de literatuur betreffende den invloed van deze factoren. Tenslotte werden eenige van de belangrijkste pogingen tot mathematische definieering van de in de literatuur vermelde experimenteele resultaten zeer in het kort weergegeven.

Deze beschouwingen zullen nu het uitgangspunt vormen voor een aantal eigen experimenten, die tot doel hebben onder de condities, die zoo goed mogelijk die van het „vereenvoudigde objectieve beeld” (zie blz. 19) benaderen, den invloed van eenige van deze factoren te onderzoeken. De volgende factoren zullen daarbij achtereenvolgens worden onderzocht n.l. de invloed van

Ih. de uitgangshelderheid B bij volledige adaptatie aan B

I'fb. den gezichtshoek, waaronder het element (B') wordt waargenomen

Ia. den adaptatietoestand van het gezichtsorgaan

op de gevoeligheid (o.dr.) van het gezichtszintuig.

Gaarne zouden we ons onderzoek nog hebben uitgebreid tot een onderzoek van den invloed, die de energieverdeeling in het spectrum van het licht op de gevoeligheid (o.dr.) uitoefent. Dit werd ons echter onmogelijk gemaakt door het feit, dat we niet de beschikking hadden over de technische hulpmiddelen voor een betrouwbare heterochrome photometrie.

HOOFDSTUK III.

ONDERSCHIEDINGSDREMPEL: EIGEN EXPERIMENTEN.

Principe der methode; Methodiek; invloed van de uitgangshelderheid B ; invloed van den gezichtshoek waaronder het element (B') wordt waargenomen; invloed van den adaptatietoestand van het gezichtsorgaan; critische beschouwing van de resultaten aan de hand van de literatuur; slotbeschouwing.

§ 1. *Principe der methode.*

Uit het hiervoor behandelde blijkt, dat het ter bestudeering van de problemen, die ons hier bezig houden van groot belang is ons een inzicht te verschaffen in de mate, waarin verschillende factoren de gevoeligheid (o.dr.) van het gezichtszintuig beïnvloeden. In dit hoofdstuk zullen nu de resultaten worden medegedeeld van experimenten, die ten doel hebben den invloed van drie van deze factoren na te gaan en wel den invloed van:

Ih. de uitgangshelderheid B .

Ifb. den gezichtshoek, waaronder het element (B') wordt beschouwd.

Ia. den adaptatietoestand van het gezichtsorgaan.

Wij hebben ons verder ten doel gesteld deze experimenten te verrichten onder omstandigheden, die zoo goed mogelijk, die van het „vereenvoudigde objectieve beeld” benaderen. Daarvoor is het noodig, dat we beschikken over een element (B), dat het geheele gezichtsveld vult, terwijl in dit gezichtsveld een cirkelvormig begrensde element (B') foveaal wordt beschouwd. Verder kunnen we in verband met de beperkingen, die we ons oplegden (zie blz. 38) volstaan met een simultane en permanente beoordeeling van den onderscheidingsdrempel.

Ter bereiking van het hier gestelde doel bleek zich een methodiek, gebaseerd op die van Hertel (78, 79) het beste te leenen. Het principe van de door ons gevolgde methode is dan ook gebaseerd op dat van den „Kugeladaptometer” van Hertel:

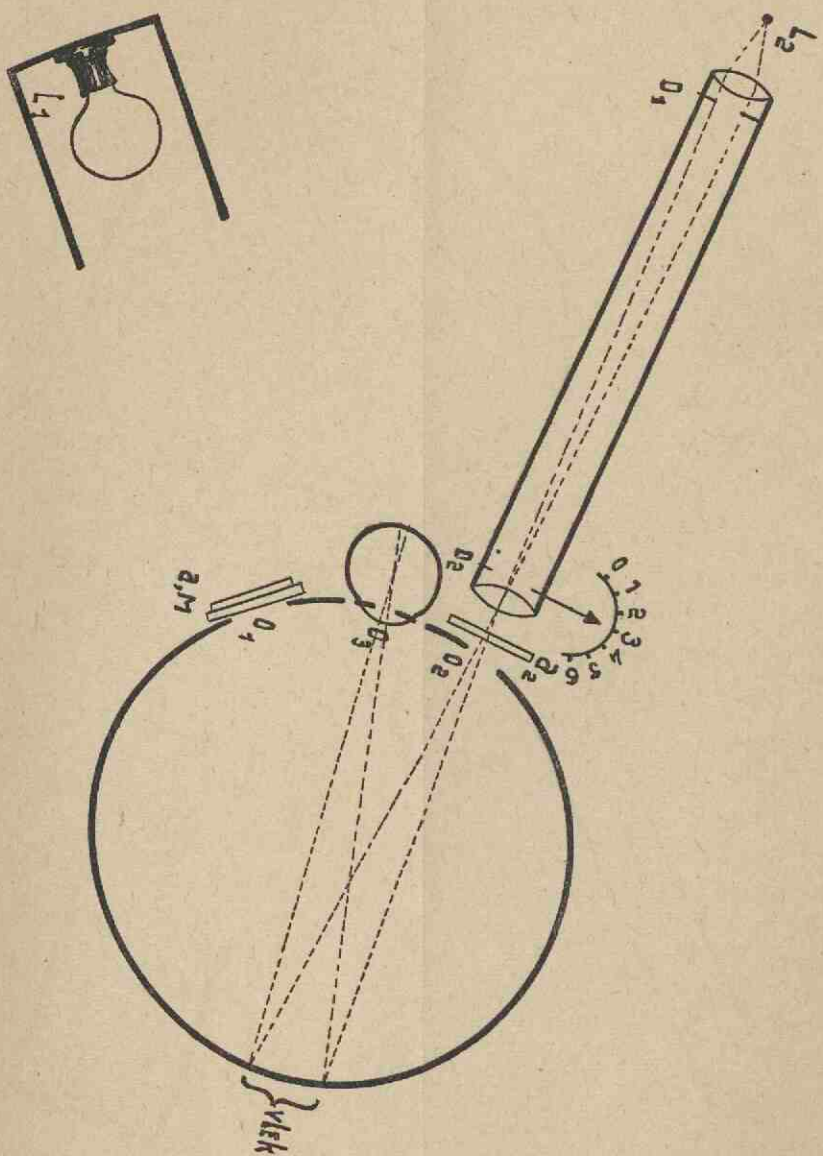
De proefpersoon kijkt door een opening in den wand van een bol naar den binnenwand van dezen bol, die matwit is gemaakt en die door een andere opening, die voor den proefpersoon onzichtbaar is, wordt verlicht. Volgens de „wetten van Ulbricht” mag men nu aannemen, dat de geheele bolwand wordt verlicht met een gelijke verlichtingssterkte, waardoor dus de helderheid (aannemende, dat de matwitte verfstof den wand tot een „perfect diffuser” maakt) overal dezelfde is. Deze licht reflecteerende bolwand wordt nu beschouwd als het element (B). Het element (B') wordt verkregen, door op dezen bolwand een gelijkmatig heldere, cirkelvormig begrensde lichtvlek te projecteeren, die door den proefpersoon zoo goed mogelijk foveaal wordt beschouwd. Indien we nu over een methode beschikken ter bepaling van de objectieve helderheid van den bolwand en die van de bijgeprojecteerde lichtvlek, dan kunnen we met behulp van deze gegevens $B/\Delta B$ onder verschillende condities bepalen, door na te gaan, welke helderheid de lichtvlek (afzonderlijk bepaald) moet hebben, om nog juist ten opzichte van den achtergrond te kunnen worden onderscheiden. Men zou op deze methode de aanmerking kunnen maken, dat door reflectie op de overige deelen van den bolwand de helderheid van het element (B'), die van het element (B) beïnvloedt. Aangezien echter, zooals hieronder zal blijken ΔB slechts een kleine fractie van B vormt en bovendien het door element (B') uitgezonden licht gelijkmatig over den geheelen bolwand wordt verdeeld kunnen we dezen invloed verwaarloozen.

Verder zal het noodig zijn inrichtingen aan te brengen, waardoor de waarden van B (discontinu) en ΔB (continu) kunnen worden gewijzigd, terwijl het bovendien noodzakelijk zal zijn een inrichting aan te brengen, waardoor de diameter van het element (B') en dus (bij constanten observatieafstand) de gezichtshoek g , waaronder het element (B') wordt beschouwd, kan worden gevarieerd.

§ 2. Methodiek (zie fig. 3).

A. De bolwand:

Als bol fungeerde een glazen ballon met een diameter van 30 cm, die aan de binnenzijde was bestreken met een speciaal voor dat doel door Walsh (153) samengestelde zinkoxydeverf, die de eigenschap heeft, dat ze den bolwand maakt tot een vlak, dat uitzendt volgens de cosinus-wet en dat een albedo heeft, die gesteld kan worden op 0,9 en zich in den loop der tijd weinig zou wijzigen.



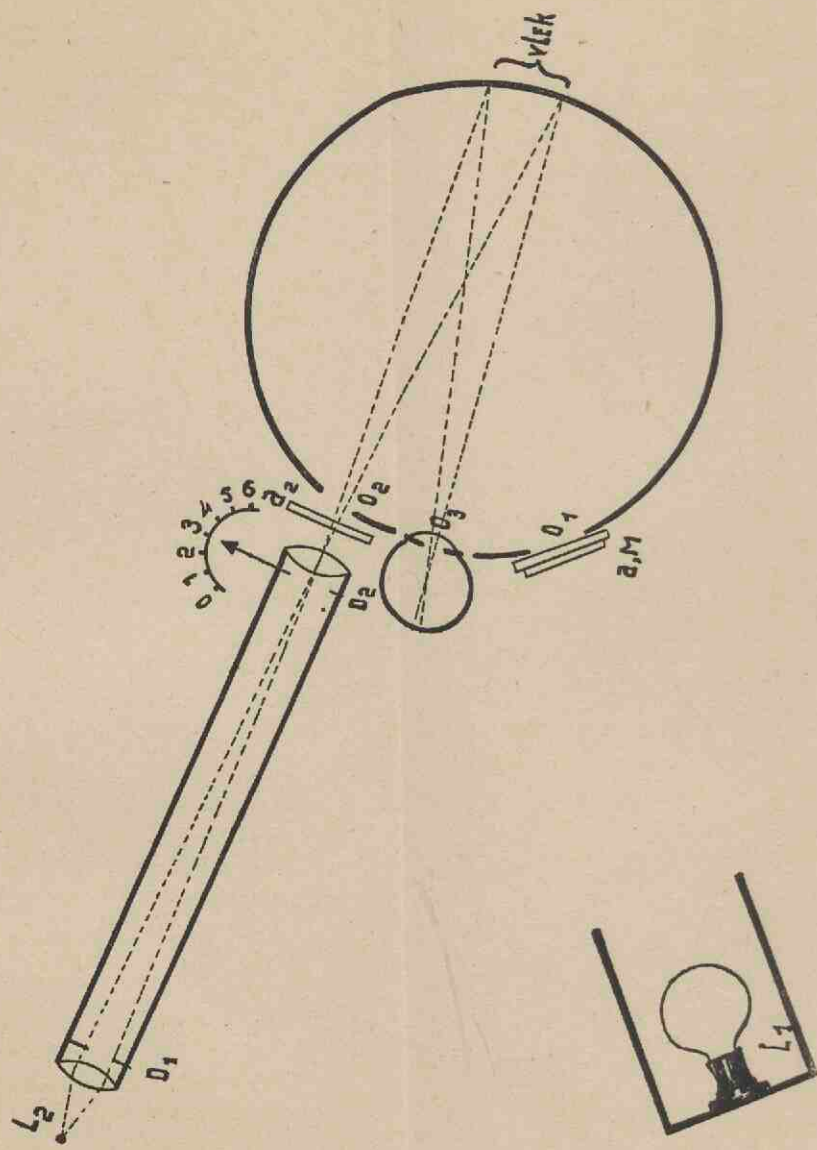


Fig. 3. De proefopstelling.

Aan de buitenzijde is de bolwand met een geheel ondoorzichtige zwarte verf bestreken.

In den bolwand bevinden zich drie openingen O_1 , O_2 en O_3 .

O_1 is de opening, die dient voor de verlichting van den geheelen bolwand (dus van element (B)). Deze opening is afgesloten door een opaalglas M . De diameter bedraagt bij een deel der experimenten 8 cm, bij een ander deel 2,5 cm.

O_2 is de opening, waardoor het licht voor de projectie van de lichtvlek naar binnen treedt. De diameter bedraagt ong. 2 cm.

O_3 is de opening, waardoor de proefpersoon de binnenzijde van den bolwand waarneemt. De diameter bedraagt ong. 4 cm.

B. De helderheid B en de wijze waarop deze kon worden gevarieerd:

Het opaalglas voor de opening O_1 wordt verlicht door een nitraphotolamp L_1 met een vermogen van 500 Watt.

Feitelijk is dus dit verlichte opaalglas de (secundaire) lichtbron, die den bolwand verlicht.

De helderheid van het element (B) kon worden gewijzigd door:

- B 1. het brengen van absorbeerende glazen (a_1) tusschen nitraphotolamp en opaalglas M .
- B 2. het brengen van absorbeerende glazen voor de opening O_3 .
- B 3. het wijzigen van den afstand van de lichtbron L_1 tot het opaalglas M .

C. Het element (B') en de wijze, waarop de helderheid B' kon worden gewijzigd.

De projectie van het element (B') geschiedde als volgt:

Een variabel irisdiaphragma D_1 werd homogeen verlicht met behulp van een Pointolitelamp L_2 (waarvan de stroomsterkte met behulp van een weerstand en een ampèremeter voortdurend op 2 A werd gehouden) en een condensorlens. Met behulp van een tweede lens werd op den bolwand een beeld van het diaphragma D_1 ontworpen. Verder was in den stralengang, daar waar het gloeiende bolletje van de pointolitelamp werd afgebeeld een tweede irisdiaphragma D_2 aangebracht, dat ter bereiking van een nauwkeurige aflezing was voorzien van een wijzer en een schaal.

De helderheid van de geprojecteerde lichtvlek kon nu op drie manieren quantitatief worden verminderd en wel door:

C 1 het varieeren van de wijdte van het diaphragma D_2 (zie voor de

ijking van de helderheid van de lichtvlek, die met de verschillende standen van den wijzer van dit diaphragma overeenkomt datgene, wat in deze paragraaf sub H dienaangaande zal worden medegedeeld),

C 2 het brengen van absorbeerende glazen in den stralengang van de projectie (a_2).

C 3 het brengen van een tijdens de rotatie verstelbare episcotister in den stralengang van de projectie (deze in principe zeer fraaie methode voor het bereiken van een quantitatieve lichtverzwakking werd in verband met technische moeilijkheden door ons verlaten),

C 4 het brengen van absorbeerende glazen voor de opening O_3 .

D. De toegepaste absorbeerende glazen.

Als absorbeerende glazen fungeerden een serie in den handel verkrijgbare glazen volgens Tscherning, die blijkens een aantal door ons verrichte ijkingen een voor ons doel voldoende nauwkeurig meetbare verzwakking van het licht veroorzaken, terwijl ze tevens in behoorlijke mate voldoen aan de eischen, die men aan een neutraal filter moet stellen. Het lichtdoorlatend vermogen van deze glazen is uitgedrukt in photoptrieën. De sterkte van het lichtdoorlatend vermogen van een glas in photoptrieën wordt weergegeven door de volgende formule:

$$Ph. = \log I/I_2 = \log I - \log I_2$$

indien I = energie van het opvallende licht

I_2 = energie van het doorgelaten licht

Ph = doorlating uitgedrukt in photoptrieën.

Uit deze uiteenzetting blijkt, dat de photoptrie in feite geheel overeenstemt met de op blz. 11 besproken zwartingseenheid, zooals deze o.a. door den Röntgenoloog wordt toegepast.

E. De effectieve pupil:

Bij alle experimenten werd gewerkt met de intacte pupil, zoodat de intreepupil van het oog bij iedere toegepaste waarde van B kan worden beschouwd als de bij de experimenten aanwezige effectieve pupil.

F. De wijze, waarop de gezichtshoek g , waaronder het element (B') werd gezien, kon worden gewijzigd:

Door wijziging van de grootte van het diaphragma D_1 wordt ook de grootte van de afbeelding van dat diaphragma op den bolwand gewijzigd.

Voor verschillende standen van de trommel van dit diaphragma werd nu de doorsnede van de lichtvlek gemeten, waarna de gezichtshoek, waaronder de vlek gezien wordt kan worden berekend met behulp van den bekenden afstand van het oog van den waarnemer tot de vlek (30 cm) met behulp van de formule

$$\operatorname{tg} 1/2 g = r/a$$

waarin g = gevraagde gezichtshoek

r = straal van de vlek in cm

a = afstand van het waarnemende oog tot de vlek in cm.

G. De objectieve helderheidseenheid:

Als eenheid van helderheid werd op grond van op blz. 28 uiteen gezette redenen de apostilb gekozen.

$$1 \text{ apostilb} = 1 \text{ lumen/M}^2 \text{ (perf. diffuser)}$$

Voor omrekening van deze eenheid in andere eenheden zie tabel 2 blz. 29.

H. De helderheidsijking:

Zowel de helderheid van den bolwand als die van de centrale lichtvlek onder verschillende condities werd door directe helderheidsijking bepaald en wel op zoodanige wijze, dat de gevraagde helderheid direct werd vergeleken met een bekende helderheid.

Voor deze vergelijking werd gebruik gemaakt van het optische systeem van een „Stufenphotometer” van de firma Zeiss.

Het essentieele deel van dit instrument bestaat uit twee van een trommelaflezing voorziene diaphragma's volgens A u b e r t, waarin het op zijn helderheid te onderzoeken vlak wordt afgebeeld. Met behulp van een prismasysteem worden nu de lichtstralen, die van ieder van deze diaphragma's komen zoo geleid, dat ze zichtbaar worden als de helften van een rond photometerveld, dat nu door een oculair wordt bekeken.

Met behulp van dit instrument kunnen dus vlakken met verschillende helderheid quantitatief worden vergeleken. De schaalverdeling op de diaphragmatrommels is af te lezen in % doorgelaten licht. Verder is nog een inrichting aangebracht, met behulp waarvan kan worden nagegaan of het beeld van het te onderzoeken vlak de geheele oppervlakte van het diaphragma opvult.

Bij onze ijkingen werd nu voor één van de beide kijkersystemen een melkglasplaatje gebracht, dat constant verlicht werd door een klein electrisch gloeilampje, gevoed door een accumulator, van welk lampje met behulp van een zoog. Mavometer en een weerstand de stroomsterkte op 240 mA werd gehouden.

Door het andere kijkersysteem werd het op zijn helderheid te onderzoeken vlak (bolwand of lichtvlek) afgebeeld. Er restte nu nog de bepaling van de helderheid, uitgedrukt in apostilbs, waarmee de helderheid van het melkglasplaatje overeenkomt.

Deze waarde werd bepaald door vergelijking van de helderheid van het melkglasplaatje met een vlak van bekende albedo, dat onder een bekenden hoek door een Hefnerkaars vanaf een bekenden afstand verlicht werd.

De helderheid van het door de Hefnerkaars verlichte vlak wordt weergegeven door de formule

$$B_v = \frac{A \cdot \cos i \cdot K}{r^2} \text{ asb}$$

waarin A = albedo van het vlak (die bij onze bepalingen 0,9 bedroeg)

B_v = helderheid van het vlak in asb

i = invalshoek van het licht van de Hefnerkaars op het vlak

K = omrekeningsfactor Hefnerkaars in internat. kaars

r = afstand Hefnerkaars — vlak in Meters

Indien we nu de helderheid van het melkglasplaatje iken tegenover die van dit standaardvlak, dan kunnen we de helderheid van het melkglasplaatje uitdrukken door de vergelijking:

$$B_1 = B_v \cdot \frac{T_v}{T_1}$$

waarin B_1 = helderheid van het melkglasplaatje

T_v = trommelaflezing diaphragma aan de zijde van het standaardvlak

T_1 = trommelaflezing aan de zijde van het melkglas

Op dezelfde wijze geldt nu voor de ijking van de helderheid van het te meten vlak tegenover het melkglasplaatje:

$$B_x = B_1 \cdot \frac{T_1}{T_x}$$

waarin B_x = helderheid van het te meten vlak

T_x = trommelaflezing diaphragma aan de zijde van het te meten vlak

De helderheid van het melkglasplaatje bleek een waarde te hebben: $\log B_1 = 2,218$ (asb). Deze waarde bleek in het verloop van tijd constant te blijven, zoodat bij alle ijkingsen deze waarde van $\log B_1$ als uitgangswaarde werd aangenomen.

Met behulp van de hier geschetste ijkingsmethode, zoo noodig onder gebruikmaking van absorbeerende glazen, werden nu bepaald:

- 1^e. de helderheid van den geheelen bolwand bij verschillenden afstand van L_1 tot het opaalglas M voor de opening O_1 .
- 2^e. de helderheid van de lichtvlek bij verschillende standen van het variabele irisdiaphragma D_2 , (waaraan om de aflezing fijner te maken een wijzer met schaalverdeeling was bevestigd). Een ijkings-curve werd gemaakt, waarin $\log B$ (van de vlek) werd uitgezet tegenover de schaaldeelen van het diaphragma. Deze curve bleek een slechts flauw gekromde lijn op te leveren, die interpolatie mogelijk maakte.

I. De twee modificaties van de opstelling:

Als *modificatie 1* zullen we die opstelling beschouwen, waarbij voor de opening O_3 geen absorptieglas aanwezig is. De wijziging van de verschillende helderheden van bolwand en vlek heeft hierbij dus geheel onafhankelijk plaats.

Als *modificatie 2* zullen we die opstelling beschouwen, waarbij voor de observatieopening wel een absorbeerend glas aanwezig is. Hier heeft dus de wijziging van de helderheid van bolwand en vlek niet geheel op van elkaar onafhankelijke wijze plaats.

Voor een deel van de experimenten en wel diegene, die in § 3 en § 5 zullen worden beschreven leent de opstelling volgens modificatie 2 zich beter, dan die volgens modificatie 1.

J. De berekening van ΔB uit de experimenteele resultaten.

De in de volgende paragrafen vermelde waarden van ΔB zijn gemiddelden van telkens twee series bepalingen, waarbij werd waargenomen, bij welke waarde van B' de vlek juist zichtbaar werd en vervolgens bij welke waarde van B' de vlek juist onzichtbaar werd.

Men kan dus zeggen, dat de vermelde waarde van ΔB wordt weergegeven door de formule

$$\Delta B = 1/2 (\Delta B_{\text{juist onzichtbaar}} + \Delta B_{\text{juist zichtbaar}})$$

waarbij $\Delta B_{\text{juist onzichtbaar}}$ en $\Delta B_{\text{juist zichtbaar}}$ ieder weer een gemiddelde zijn van een serie waarnemingen. Crozier en anderen (31, 32, 33) hebben er terecht op gewezen, dat de hier toegepaste procedure niet zonder meer als algemeen toelaatbaar kan worden beschouwd, aangezien we de verschillen in de afzonderlijke experimenteele waarden niet als

zuiver toevallige fouten kunnen beschouwen, maar ze moeten zien als een functie van het onderzochte orgaan zelf. Hierop voortbouwende komen deze schrijvers tot het opstellen van een wet, die luidt:

$$\sigma_{\Delta B} = k \Delta B$$

waarin $\sigma_{\Delta B}$ = standaarddeviatie van de gevonden waarden van ΔB .

Deze wet wordt aangeduid als de „wet van Crozier”.

Uit het hier besprokene volgt, dat we eigenlijk uitgaan van een verkeerde voorstelling, indien we de betrekking tusschen den onderscheidingsdrempel en een andere grootheid voorstellen door een enkelvoudige lijn, maar dat we beter doen een dergelijke functie voor te stellen door een band. Hoewel we in principe de juistheid van deze redeneering erkennen zullen we bij onze verdere bespreking onze resultaten door enkelvoudige lijnen weergeven, vooral met het oog op de overzichtelijkheid van de resultaten.

K. Algebraïsch teeken van ΔB :

De door onze toegepaste opstelling maakte het ons slechts mogelijk het geval te onderzoeken, waarbij ΔB positief is, d.w.z. B' grooter dan B . Bij de proefopstelling van Hertel (79) was in beginsel de mogelijkheid gegeven ook het omgekeerde geval (ΔB negatief) te onderzoeken (van deze mogelijkheid is echter, voor zoover ons bekend, geen gebruik gemaakt bij metingen van den onderscheidingsdrempel). Hierdoor wordt de proefopstelling echter zeer gecompliceerd.

L. Het bereiken van volledige adaptatie aan een bepaalde helderheid:

Om den proefpersoon volledig te adapteren aan een bepaalde helderheid werd het gezichtsorgaan aanvankelijk gedurende een half uur aan een volledig duister geadapteerd, waarna de gewenschte adaptatiehelderheid gedurende minstens 5 minuten werd aangeboden. Onder deze condities kan men nu aannemen (zie § 5), dat het gezichtsorgaan volledig aan deze helderheid is geadapteerd, aangezien de lichtadaptatie zeer snel verloopt. Voor het adapteren aan hoogere helderheden, dan die waaraan het oog reeds geadapteerd was, werd de nieuwe helderheid steeds gedurende eenige minuten aangeboden.

M. De proefpersonen.

De hier te vermelden resultaten zijn allen bepaald voor het linker oog

van den schrijver, dat een gezichtsscherpte van 5/5 en een licht gemengd astigmatisme (H 0,25 Asm 0,75) heeft, terwijl de donkeradaptatiecurve (bepaald met behulp van den adaptometer van Kentgens) ongestoord is.

Het meerendeel der uitkomsten werd vergeleken met die voor het linker oog van een anderen proefpersoon, die een gezichtsscherpte 5/4 heeft en emmetroop is. Aangezien de vergelijking van de resultaten voor deze beide proefpersonen geen principieele verschillen aan het licht bracht, zullen we ter verkrijging van „homogene” resultaten slechts de meer talrijke resultaten voor het oog van den schrijver vermelden.

§ 3. *Ih. Invloed van de uitgangshelderheid B op de gevoeligheid (o.dr.) bij volledige adaptatie aan B .*

Probleemstelling: Welke betrekking bestaat tusschen de uitgangshelderheid B en de gevoeligheid (o.dr.) $B/\Delta B$ bij volledige adaptatie aan B .

Methode: Het oog werd op de sub § 2 L beschreven wijze volledig geadapteerd aan een zekere lage bolwandhelderheid. Daarna werd op de sub § 2 J beschreven wijze ΔB bepaald, als gemiddelde van 10 dubbelbepalingen (10 maal ΔB juist zichtbaar en 10 maal ΔB juist onzichtbaar). Dit werd herhaald voor steeds hoogere waarden van $\log B$.

Als proefopstelling werd de sub § 2 I besproken modificatie 2 toegepast. Aangezien het er bij deze experimenten om te doen is het gedrag van $B/\Delta B$ ten opzichte van $\log B$ te leeren kennen is het namelijk van veel belang, dat de resultaten zoo min mogelijk worden beïnvloed door een eventueele onnauwkeurigheid, die zou kunnen insluipen, door het feit, dat de helderheid van bolwand en vlek in twee afzonderlijke ijkings-series is bepaald. Aangezien nu bij modificatie 2 het voor de opening O_3 geplaatste absorptieglas de helderheid van bolwand en vlek op geheel gelijke wijze beïnvloedt, zal iedere waargenomen verandering van ΔB als reëel te beschouwen zijn.

Evenals bij alle hierna volgende proefnemingen werden de instellingen van het diaphragma D_2 en de aflezingen daarvan door een helpster verricht, zoodat de proefpersoon, tusschen de bepalingen in, naar den bolwand kon blijven kijken.

Een dergelijke bepaling werd nu verricht voor verschillende waarden van g (g = gezichtshoek, waaronder het element (B') wordt waargenomen).

In iedere zitting werden de resultaten voor één bepaalden gezichtshoek

onderzocht, zoodat de resultaten slechts ten opzichte van den invloed van B op $B/\Delta B$ als homogeen zijn te beschouwen. (Men moet zich er namelijk rekenschap van geven, dat vrijwel alle onderzoekers het erover eens zijn, dat resultaten in verschillende zittingen verkregen niet in alle opzichten als homogeen kunnen worden beschouwd).

In tabel 3a, 3b, 3c en 3d worden de uitkomsten van dergelijke bepalingen voor vier verschillende waarden van g medegedeeld.

TABEL 3.

Opstelling volgens modificatie 2, Helderheidseenheid = 1 apostilb.

a) Gezichtshoek vlek (g) = $284'$.

$\log B$	$\log \Delta B$	$B/\Delta B$
0,276 - 2	0,492 - 3	5,80
0,276 - 1	0,000 - 2	18,8
0,276	0,728 - 2	35,3
1,276	0,512 - 1	58,0
1,776	0,975 - 1	63,2
2,026	0,220	63,9
2,276	0,500	59,7
2,526	0,760	58,3
2,776	0,970	63,9
3,026	1,243	60,6
3,276	1,485	61,8
3,526	1,846	60,3
3,796	1,993	60,6
4,026	2,235	61,8
4,276	2,485	61,8

b) Gezichtshoek vlek (g) = $60'$

$\log B$	$\log \Delta B$	$B/\Delta B$
0,198 - 2	0,550 - 3	4,4
0,198 - 1	0,150 - 2	11,1
0,198	0,725 - 2	29,7
0,698	0,020 - 1	47,6
1,198	0,510 - 1	48,7
1,698	0,948 - 1	26,2
2,198	0,460	54,7
2,698	0,915	60,6
3,198	1,406	62,0
3,698	1,885	65,0
4,198	2,350	70,4

c) Gezichtshoek vlek (g) = $34'$

$\log B$	$\log \Delta B$	$B/\Delta B$
0,198 - 2	0,450 - 2	5,6
0,198	0,975 - 2	16,7
0,698	0,175 - 1	26,4
1,198	0,596 - 1	40,0
1,698	0,945 - 1	35,7
2,198	0,450	55,9
2,698	0,945	56,6
3,198	1,425	59,2
3,448	1,675	59,2
3,698	1,925	59,2
3,948	2,180	58,6
4,198	2,425	59,2

d) Gezichtshoek vlek (g) = $7'$

$\log B$	$\log \Delta B$	$B/\Delta B$
0,698	0,085	4,10
1,198	0,470	5,34
1,698	0,893	6,40
2,198	1,335	7,29
2,698	1,798	7,94
3,198	2,220	9,50
3,448	2,465	9,61
3,698	2,715	9,61
4,198	3,210	9,72

Opdat men zich een oordeel zal kunnen vormen, omtrent de grootte van de lichtvlek, die met ieder van de hier genoemde waarden van g

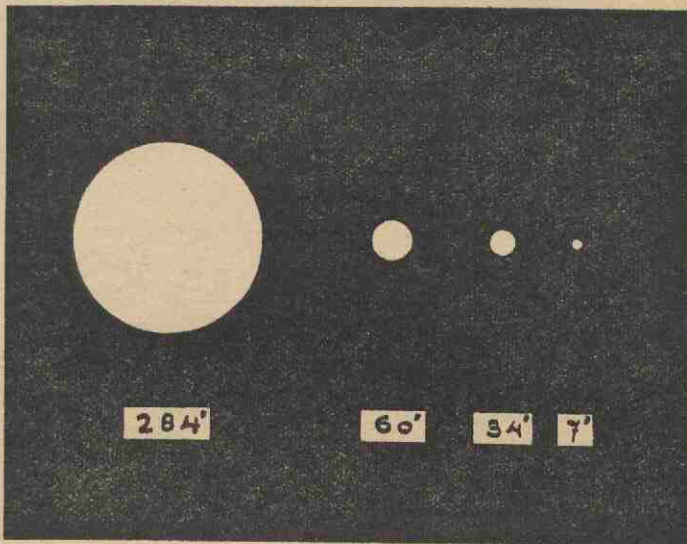
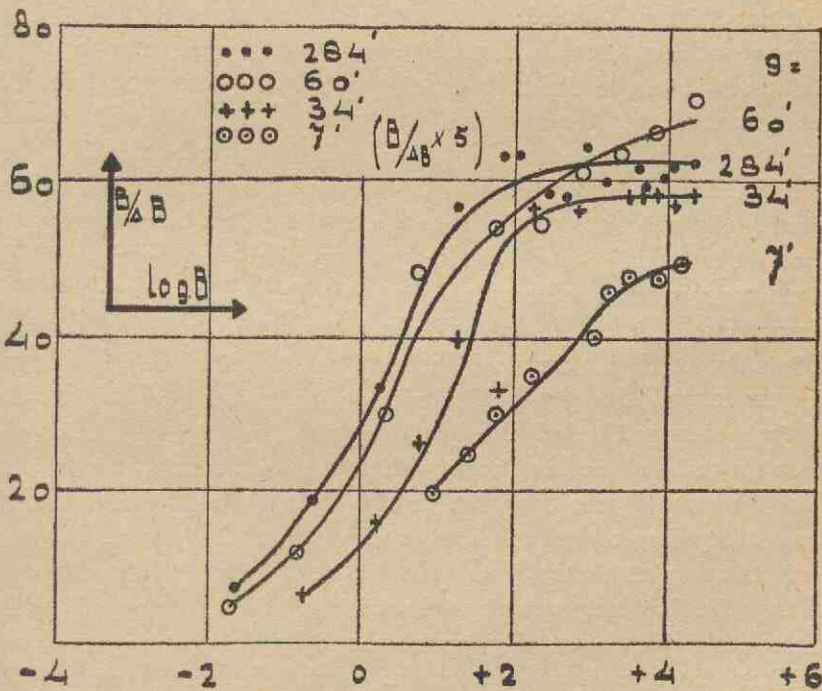
Fig. 4.¹⁾

Fig. 5.

De gevoeligheid (o.dr.) als functie van $\log B$.

¹⁾ Het vlekje behorende bij $g=7'$ moest om technische redenen in deze figuur te groot worden weergegeven.

overeenkomt geven we in fig. 4 de grootte van deze lichtvlekken weer voor een observatieafstand van 30 cm.

De in tabel 3 vermelde resultaten zijn uitgezet in curven (fig. 5), waarin op de abcis is uitgezet $\log B$ (asb) en op de ordinaat $B/\Delta B$.

Uit deze krommen leeren we, dat de gevoeligheid (o.dr.) voor alle vier onderzochte waarden van g toeneemt met het grooter worden van $\log B$, waarna dit toenemen vermindert, zoodat $B/\Delta B$, behalve voor $g = 60'$, constant wordt. Voor $g = 60'$ houdt de stijging van $B/\Delta B$ tot het einde toe aan, zij het ook in mindere mate, dan bij lagere helderheden. Verder blijkt uit deze krommen, dat de grootte van den gezichtshoek, waaronder het element (B') wordt gezien van grooten invloed is, niet alleen op de absolute waarde van $B/\Delta B$, maar ook op het algemeene gedrag van de curve, en wel in dien zin, dat bij kleiner worden van g de curven naar beneden en naar rechts worden verplaatst. Voor ons probleem van groot belang is het feit, dat de waarde van $\log B$, waarbij $B/\Delta B$ constant begint te worden, voor verschillende waarden van g niet dezelfde blijkt te zijn. Zoo blijkt, dat voor $g = 284'$ $B/\Delta B$ reeds constant is bij ong. $\log B = 1,8$, terwijl voor $g = 34'$ en $7'$ dit punt eerst bereikt wordt ong. bij $\log B = 3,0$.

Zeër opvallend is het merkwaardige gedrag van de curve voor $g = 60'$, welk resultaat in verband met het eigenaardig karakter meerdere malen werd gecontroleerd. We zien uit deze kromme, dat er tijdens de geheele bepaling geen gebied van $\log B$ wordt gevonden, waarbij $B/\Delta B$ constant blijft. We zullen goed doen ons dit merkwaardige resultaat te blijven herinneren in verband met hetgeen we in § 4 zullen bespreken.

Een dalen van $B/\Delta B$ bij de hoogste waarden van $\log B$ werd door ons nooit gevonden. De hoogste door ons onderzochte waarde van $\log B$ bedraagt ong. 4,2, overeenkomende met ong. 16000 asb.

Dit is dus reeds een aanzienlijke helderheid. Het zou zeker interessant zijn geweest nog hoogere helderheden te onderzoeken, maar het bleek technisch onmogelijk de helderheid van den bolwand nog meer op te voeren, in verband met de sterke verhitting van het instrumentarium.

Het merkwaardige gedrag van de curve voor $g = 60'$ werd bevestigd door een bepaling bij een anderen proefpersoon. Korthedshalve worden de uitgewerkte resultaten van dit experiment hier niet vermeld.

Aangezien het hier weergegeven materiaal niet „homogeen” is, wat betreft den invloed van den gezichtshoek op de gevoeligheid (o.dr.) werd besloten aan dezen laatsten factor een afzonderlijk onderzoek te wijden, waarvan de resultaten in de volgende paragraaf zullen worden medegedeeld.

§ 4. *Ifc. De invloed van den gezichtshoek (g), waaronder het element wordt beschouwd op de gevoeligheid (o.dr.).*

Probleem: Welken invloed heeft de grootte van den gezichtshoek g , waaronder het element (B') wordt beschouwd op de gevoeligheid (o.dr.) $B/\Delta B$ bij volledige adaptatie aan B .

Methode: Het oog werd volledig geadapteerd (zie § 2 L) aan een zekere helderheid B , waarna voor een bepaalde grootte van g de onderscheidingsdrempel werd bepaald wederom als gemiddelde van 10 dubbelbepalingen.

TABEL 4.

Proefpersoon en oog als bij tabel 3.

a) $\log B = 0,080$			b) $\log B = 2,195$		
$g =$ Gezichts- hoek vlek (min.)	$\log \Delta B$	$B/\Delta B$	$g =$ Gezichts- hoek vlek (min.)	$\log \Delta B$	$B/\Delta B$
8	0,936 — 1	0,13	8	—	—
38	0,925 — 2	14,3	38	0,469	53,3
60	0,845 — 2	17,2	60	0,429	58,0
88	0,655 — 2	26,6	88	0,394	63,3
136	0,633 — 2	26,1	136	0,379	65,5
156	0,585 — 2	31,2	156	0,349	70,2
218	0,570 — 2	32,3	218	0,264	85,4
284	0,518 — 2	36,4	284	0,144	89,4
340	0,475 — 2	40,2	340	0,299	78,8

c) $\log B = 3,025$			d) $\log B = 3,503$		
$g =$ Gezichts- hoek vlek (min.)	$\log \Delta B$	$B/\Delta B$	$g =$ Gezichts- hoek vlek (min.)	$\log \Delta B$	$B/\Delta B$
8	1,816	16,1	8	2,172	21,4
38	1,401	42,0	38	1,677	53,2
60	1,336	47,7	60	1,744	57,4
88	1,401	42,0	88	1,802	50,2
136	1,416	40,6	136	1,840	46,0
156	1,316	51,0	156	1,902	39,9
218	1,241	60,8	218	1,802	50,2
284	1,241	60,8	284	1,687	65,3
340	1,296	53,6	340	1,767	54,4

Een serie van dergelijke bepalingen werd nu verricht voor verschillende waarden van g . In iedere zitting werd slechts bij één bepaalde waarde van B onderzocht. Het bij deze experimenten verkregen materiaal is dus

„homogeen” ten opzichte van den gezichtshoek, maar niet homogeen ten opzichte van B .

In tabel 4 geven we de resultaten van een aantal van deze experimenten weer voor het linker oog van den schr. in vier verschillende zittingen bepaald, waarbij $\log B$ bedroeg resp. 0,080, 2,195, 3,025 en 3,503 (asb), terwijl g in iedere zitting varieert tusschen 8' en 340'.

Als proefopstelling werd de sub § 2 I beschreven modificatie 1 toegepast, aangezien hier de onveranderlijkheid van B tijdens iedere zitting een onnauwkeurigheid, als gevolg van het feit, dat de voor de helderheid van bolwand en vlek gemeten waarden berusten op van elkander onafhankelijke ijkingsseries, uitsloot.

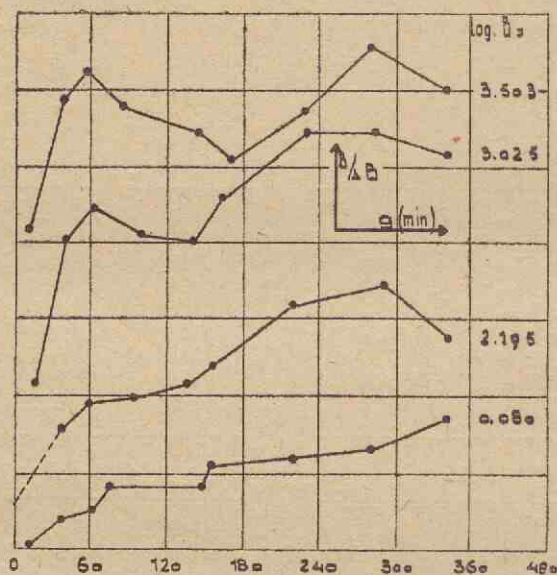


Fig. 6.

De gevoeligheid (o.dr.) als functie van g .

De resultaten van tabel 4 zijn uitgezet in fig. 6, waarin op de abscis is uitgezet g en op de ordinaat $B/\Delta B$. Uit deze figuur blijkt nu, dat de relatie tusschen gezichtshoek, waaronder het element (B') wordt waargenomen en de gevoeligheid (o.dr.) voor verschillende waarden van B een zeer verschillend karakter heeft. Bij zeer lage waarden van $\log B$ (tabel 4 a; onderste kromme fig. 6) blijkt de gevoeligheid (o.dr.) bij toename van g geleidelijk te stijgen, aanvankelijk snel, vervolgens langzamer. Voor hogere waarden van $\log B$ blijkt de curve echter duidelijk in twee afzonderlijke gedeelten uiteen te vallen, waarvan het

eerste gedeelte in het bijzonder bij de twee hoogste waarden van $\log B$ een duidelijken top gaat vertoonen. Deze eerste top wordt gevonden bij een waarde van $g = 60'$. Dit is een zeer merkwaardig resultaat, dat in overeenstemming lijkt te zijn met de resultaten van de in § 3 beschreven experimenten; immers hieruit bleek, dat juist bij een waarde van $g = 60'$ de betrekking tusschen de uitgangshelderheid B en de gevoeligheid (o.dr.) $B/\Delta B$ een bijzonder karakter heeft (zie blz. 70), dat zich uit in het feit, dat de gevoeligheid (o.dr.) bij deze waarde van g bij toename van $\log B$ blijft stijgen, terwijl voor andere waarden van g de gevoeligheid in dit gebied reeds lang constant is. De resultaten, beschreven in § 3 en § 4, bevestigen elkaar dus op dit punt.

Wij hebben een poging gedaan de curven van fig. 6 door graphische differentiatie te analyseeren. Het is ons echter niet gelukt op deze wijze een eenvoudige functie te vinden, die de betrekking tusschen g en $B/\Delta B$ weergeeft.

Bij de critische beschouwing van de resultaten aan de hand van de literatuur in § 6 zullen we op de hier vermelde resultaten nog terugkomen.

Aan de absolute waarden van $B/\Delta B$ mag bij deze experimenten niet veel waarde worden gehecht, aangezien dit materiaal slechts „homogeen” is ten opzichte van g .

§ 5. *Ia. Invloed van den adaptatietoestand op de gevoeligheid (o.dr.) $B/\Delta B$.*

De in § 3 en § 4 beschreven experimenten werden allen verricht bij volledige adaptatie aan de uitgangshelderheid B . Het is echter voor ons van belang na te gaan, hoe de gevoeligheid (o.dr.) zich wijzigt, indien het gezichtszintuig niet is geadapteerd aan B . Voor een nadere analyse van dit probleem is het noodzakelijk eenige algemeene opmerkingen te doen voorafgaan en een kleine wijziging aan te brengen in de tot nu toe gevolgde notatie.

Indien het geheele gezichtsveld, of een groot deel daarvan volledig is geadapteerd aan een helderheid, die we B_1 zullen noemen en indien daarna plotseling deze helderheid een andere waarde B_2 aanneemt, zal er eenigen tijd verloopen, voordat het gezichtszintuig aan deze nieuwe helderheid B_2 volledig is geadapteerd. In dezen tijd wijzigt zich de adaptatietoestand van het gezichtszintuig voortdurend, welke wijziging tot uiting komt in een wijziging van de gevoeligheid. De gevoeligheid kunnen we nu evenals dat in § 3 en § 4 is beschreven onderzoeken als gevoeligheid (o.dr.). Volledige adaptatie aan B_2 is bereikt, indien de

gevoeligheid (o.dr.) $B_2/\Delta B_2$ constant is geworden.

We kunnen hierbij twee mogelijkheden direct onderscheiden:

- a) B_2 kleiner dan B_1 (donkeradaptatie).
- b) B_2 groter dan B_1 (lichtadaptatie).

Voor de analyse van de problemen, die ons hier bezig houden zijn nu twee vragen van bijzonder belang:

- 1) In welke mate wijzigt zich de gevoeligheid terwijl het gezichtsorgaan bezig is zich te adaptieren aan de helderheid B_2 .
- 2) Welke tijd is noodig voor volledige adaptatie aan B_2 .

Methode.

Als proefopstelling werd gebezigt de sub § 2 I beschreven modificatie 2. De proefpersoon werd volledig geadapteerd aan een helderheid B_1 op de wijze, zooals dat sub § 2 L is beschreven, waarna door het snai plaatsen van een ander dan het tot nu toe gebruikte absorbeerende glas voor de opening O_3 (zie fig. 3) de helderheid plotseling werd gewijzigd in een waarde B_2 . Onmiddellijk werd nu begonnen met het instellen van de lichtvlek zoo, dat deze juist zichtbaar werd. De tijd, die op het moment van deze waarneming verlopen was na den overgang van B_1 op B_2 werd door een helpster genoteerd en vervolgens werd de lichtvlek zoo ingesteld, dat ze juist onzichtbaar was, waarna wederom de tijd van de waarneming werd genoteerd. Hiermede werd doorgegaan, totdat de helpster den indruk kreeg, dat de waarnemingen langen tijd constant bleven.

Resultaten:

a. Donkeradaptatie (B_2 kleiner dan B_1).

Als voorbeeld van een waarnemingsserie voor donkeradaptatie worden in tabel 5 de resultaten medegedeeld voor het linker oog van den schrijver, waarbij $\log B_1 = 4,114$ en $\log B_2 = 0,273$ (asb). De in deze tabel vermelde waarden van $B_2/\Delta B_2$ zijn in dit geval genoteerd als „log” $B_2/\Delta B_2$. De waarden van ΔB_2 , waarop deze berekening berust zijn hier niet, zooals bij de in § 3 en § 4 beschreven experimenten gemiddelden van een serie dubbelbepalingen, maar berusten ieder op één afzonderlijke bepaling van ΔB_2 juist zichtbaar of van ΔB_2 juist onzichtbaar.

TABEL 5.

Proefopstelling modificatie 2.

$\log B_1 = 4,114$

$g = 60'$

$\log B_2 = 0,273$

Tijd na overgang van B_1 op B_2 (sec.)	$\log B_2/\Delta B_2$		Tijd na overgang van B_1 op B_2 (sec.)	$\log B_2/\Delta B_2$	
	vlek juist zichtbaar	vlek juist onzicht- baar		vlek juist zichtbaar	vlek juist onzicht- baar
25	0,678	—	252	1,158	—
28	—	1,048	260	—	1,473
35	1,003	—	268	1,133	—
40	—	1,373	278	—	1,588
50	1,343	—	289	1,268	—
56	—	1,383	295	—	1,588
64	1,198	—	305	1,258	—
72	—	1,448	312	—	1,573
81	1,093	—	221	1,298	—
88	—	1,348	329	—	1,588
97	1,143	—	338	1,258	—
109	—	1,423	348	—	1,518
117	1,298	—	358	1,228	—
123	—	1,478	365	—	1,448
133	1,318	—	380	1,258	—
153	—	1,593	385	—	1,618
156	1,298	—	394	1,288	—
159	—	1,463	410	—	1,603
169	1,238	—	417	1,223	—
185	—	1,498	424	—	1,463
191	1,113	—	436	1,268	—
202	—	1,548	446	—	1,548
217	1,323	—	455	1,208	—
225	—	1,613	462	—	1,588
232	1,258	—	470	1,228	—
242	—	1,573	480	—	1,548

De resultaten, vermeld in tabel 5 werden graphisch uitgezet in fig. 7, waarin op de abscis is uitgezet de tijd verlopen na overgang van B_1 op B_2 en op de ordinaat $\log B_2/\Delta B_2$. Men ziet uit de figuur, hoe in het verloop van den tijd $\log B_2/\Delta B_2$ (en dus ook $B_2/\Delta B_2$) aanvankelijk snel, vervolgens steeds langzamer stijgt, om tenslotte min of meer constant te worden. De tijd noodig voor dit constant worden blijkt in dit geval ± 140 sec. te bedragen, d.w.z. dat ong. 140 sec. na overgang van B_1 in B_2 het oog volledig is geadapteerd aan B_2 onder de hier geschetste condities. Verder ziet men uit tabel en curve, dat de waarde van $B_2/\Delta B_2$ door het niet geadapteerd zijn van het gezichtszintuig aan B_2 in belangrijke mate wordt beïnvloed. Indien we ons beperken tot de bepalingen voor juist zichtbaar worden van de vlek, dan blijkt,

dat $\log B_2/\Delta B_2$ na 25 sec. een waarde heeft van 0,678. Aangezien we nu waarnemen, dat bij volledige adaptatie aan B_2 $\log B_2/\Delta B_2$ een waarde heeft van ong. 1,258, dan volgt hieruit, dat $\log B_2/\Delta B_2$ tijdens het adaptatieproces is gestegen met een bedrag $1,258 - 0,678 = 0,580$. $B_2/\Delta B_2$ is dus in dien tijd num $\log 0,580 = 3,8$ maal groter geworden.

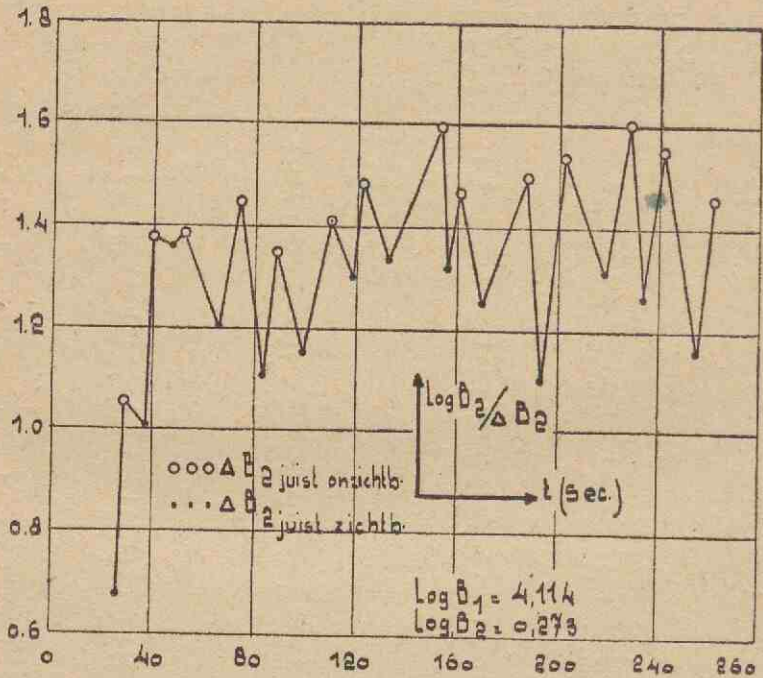


Fig. 7.

Wijziging der gevoeligheid (o.dr.) tijdens donkeradaptatie.

Om ons echter een juist oordeel te vormen over de grootte van den invloed van den adaptatietoestand op de gevoeligheid (o.dr.) zou het noodzakelijk zijn te beschikken over bepalingen van de waarde hiervan onmiddellijk na overgang van B_1 in B_2 , d.w.z. voor $t = 0$. Hiertoe leent zich echter de hier geschetste wijze van experimenteren niet. Met de eerste instelling van de vlek op juist zichtbaar is namelijk steeds een aanzienlijke tijd gemoeid. De experimenten van Wright (157) (zie blz. 50) kunnen ons op dit punt veel leeren, terwijl ook de onderzoekingen van Schouten (136a) van veel belang zijn.

Voor een uitvoerige bestudeering van de mate, waarin het niet ge-adapteerd zijn aan B_2 de gevoeligheid (o.dr.) beïnvloedt is het noodig het hier geschetste experiment te herhalen voor verschillende waarden van B_1 en B_2 en bovendien voor verschillende waarden van g .

Aangezien in verband met de problemen, die ons hier interesseeren echter het feit, dat deze invloed bestaat en onder bepaalde omstandigheden vrij groot is van meer belang is, dan de vraag, hoe groot deze invloed onder verschillende omstandigheden precies is, hebben we ons bepaald tot enkele van dergelijke experimenten, die allen aantoonde, dat het niet geadapteerd zijn aan de helderheid B_2 een ongunstigen invloed heeft op de gevoeligheid (o.dr.) en dat deze ongunstige invloed toeneemt en langer blijft bestaan, indien het verschil tusschen B_1 en B_2 grooter wordt. Zoo kon nog een duidelijk ongunstige invloed worden waargenomen voor $\log B_1 = 4,27$ en $\log B_2 = 2,27$ ($B_2 = 0,01 \cdot B_1$).

Ter bestudeering van den tijd, die noodig is voor het bereiken van volledige adaptatie aan B_2 kunnen we echter onze experimenteele methode aanzienlijk vereenvoudigen, waardoor het vooral zeer vermoeiende karakter van de hiervoor geschetste experimenten eenigszins wordt verminderd, terwijl bovendien de bepaling van den tijd noodig voor volledige adaptatie aan B_2 niet behoeft te worden afgelezen uit de curve, zooals dat hierboven geschiedde.

TABEL 6.

Proefpers. schr. Linker oog
 $\log B_1 = 4,27$ $g = 60'$

$\log B_2$	t (= tijd na overgang B_1 op B_2 noodig voor het zichtbaar worden van de vlek) in sec.
4,27	0,0
2,27	12,0
1,27	32
0,27	70
0,27 - 1	102
0,27 - 2	320
0,27 - 3	600

Bij deze eenvoudigere methode gingen we als volgt te werk.

Het gezichtsorgaan werd geadapteerd aan de helderheid B_2 . Daarna werd bepaald die helderheid van de vlek, waarbij deze ten opzichte van B_2 juist zichtbaar was. Vervolgens werd het oog geadapteerd aan de helderheid B_1 . Tenslotte werd de helderheid B_2 weer aangeboden, terwijl de helderheid ΔB_2 reeds was ingesteld op de van te voren bepaalde waarde. Bepaald werd nu, welke tijd verliep, totdat de vlek

weer zichtbaar werd, gerekend vanaf den overgang van B_1 op B_2 . Deze wijze van experimenteren leert ons natuurlijk niets omtrent de gevoeligheid tijdens het adaptatieproces, maar geeft ons uitsluitend een maat voor den tijd, die noodig is voor volledige adaptatie aan B_2 .

In tabel 6 zijn de resultaten van een aantal van dergelijke bepalingen weergegeven, waarbij B_1 de waarde van $\log B_1$ steeds dezelfde was, terwijl $\log B_2$ varieerde tusschen 0,27 — 3 en 4,27 (voor $\log B = 4,27$ is t vanzelfsprekend $= 0$)

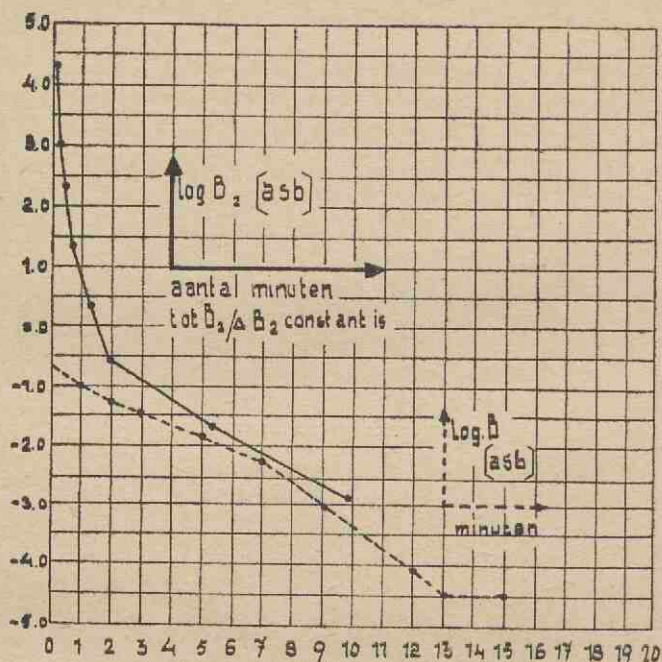


Fig. 8 (zie tabel 6 en 7).

De gegevens van deze tabel zijn weergegeven in fig. 8, waarin tevens ter vergelijking de donkeradaptatie-curve van hetzelfde oog na vooradaptatie aan $\log B = 4,27$ (asb), bepaald met behulp van den adaptometer van Kentgens (94a) (zie diens proefschrift) is uitgezet. Deze curve berust op de in tabel 7 te vermelden waarden.

In fig. 8 (bovenste curve) is op de abcis uitgezet de tijd noodig voor volledige adaptatie aan B_2 en op de ordinaat $\log B_2$.

We zien uit deze figuur, dat bij het kleiner worden van $\log B_2$, t aanvankelijk langzaam, daarna plotseling sneller toeneemt. Deze plotselinge toename heeft plaats bij een waarde van $\log B_2$ tusschen 0,27 — 1

en 0,27 — 2. Het ligt voor de hand aan te nemen, dat deze plotselinge verandering moet worden toegeschreven aan het feit, dat in dit helderheidsgebied het scotoptisch zien de overhand krijgt over het photoptisch zien.

TABEL 7.
 Proefpersoon. schr. Linker oog
 Adaptometer Kentgens
 Vooradaptatie aan $\log B = 4,47$ (asb)

Tijd na uitdooving voor- adaptatie helderheid (min.)	log absol. drempel (asb)
1	0,0 — 1
2	0,75 — 2
3	0,5 — 2
5	0,25 — 2
7	0,75 — 3
9	0,0 — 3
12	0,25 — 4
15	0,0 — 4

Verder zien we hoe de waarden overal rechts liggen van die, die verkregen zijn met den adaptometer van Kentgens (onderste curve). Dit verwondert ons niet, immers het is begrijpelijk, dat er meer tijd verloopt, voordat het oog aan een helderheid volledig is geadapteerd, dan er noodig is voor het juist herkennen van deze helderheid. Overigens moet men wel in het oog houden, dat de beide curven niet in alle opzichten te vergelijken zijn. Bij de waarnemingen behorende bij de bovenste curve is het oog tijdens het experiment voortdurend blootgesteld aan de helderheid B_2 , terwijl bij de experimenten, die tot de onderste curve leiden tusschen de bepalingen een volledig duister heerscht.

Een oogenblik buiten het eigenlijke onderwerp van dit proefschrift gaande zouden wij gaarne de gelegenheid aangrijpen, er op te wijzen, dat voor de bestudeering van een groot aantal problemen uit de practische verlichtingskunde de bepaling van den tijd, die noodig is voor het bereiken van volledige adaptatie aan een bepaalde helderheid van meer belang is, dan de vraag welke de kleinste helderheid is, die een zekeren tijd na vooradaptatie aan een bepaalde helderheid nog juist herkend kan worden. Met een voorbeeld is dit gemakkelijk te illustreeren. Indien we ons des avonds bevinden in een met kunstlicht verlicht vertrek bij een gemiddelde helderheid B_1 en ons daarna plotseling begeven in de verduisterde straat met een gemiddelde helderheid B_2 , dan zal de tijd, die

verloopt, totdat we ons in dit nieuwe milieu volledig op ons gemak voelen bepaald worden door het aantal minuten, dat verloopt, voordat we aan deze nieuwe helderheid B_2 volledig geadapteerd zijn en niet door den tijd, die noodig is voor het juist herkennen van deze helderheid. Bij het bestudeeren van problemen van dezen aard zal men dan ook goed doen gebruik te maken van onderzoeksmethoden, die gebaseerd zijn op een principe, dat vergelijkbaar is met dat van de hierboven geschetste methodiek.

b. Lichtadaptatie (B_2 groter dan B_1).

In principe is het mogelijk de beide sub a) beschreven onderzoeksmethoden ook aan te wenden voor het geval dat B_2 groter is dan B_1 , d.w.z. voor lichtadaptatie.

Aan de lichtadaptatie is tot nu toe in de literatuur veel minder aandacht besteed dan aan de donkeradaptatie. Dit wordt voor een groot deel hierdoor veroorzaakt, dat de wijziging der gevoeligheid bij de lichtadaptatie veel sneller is, dan bij donkeradaptatie.

TABEL 8.

Proefopstelling 2

Proefpersoon: schr. Linkeroog

$g = \text{Gezichtshoek vlek} = 60'$

Resultaten voor juist zichtbaar worden van de vlek

$\log B_1 = -\infty$ ($B_1 = 0$)

$\log B_2 = 3,503$

Tijd na overgang van B_1 op B_2 (sec.)	$\log \Delta B_2$	$B/\Delta B_2$
18	1,694	34,6
25	1,932	37,2
31	1,904	39,6
43	1,907	39,4
49	1,814	48,7
56	1,889	41,1
62	1,787	51,9
67	1,774	53,6
75	1,679	66,6
80	1,679	66,6
87	1,634	73,9
94	1,689	64,9
101	1,724	60,1
114	1,644	72,1
121	1,634	73,8
150	1,644	72,3
166	1,679	66,7

Bij de hier te beschrijven experimenten werkte de groote snelheid van deze gevoeligheidsverandering dan ook zeer storend, waarom we slechts zeer in het kort de resultaten van deze experimenten zullen mededeelen.

De gang van het onderzoek was geheel dezelfde als die welke voor de experimenten betreffende de donkeradaptatie is beschreven.

Tabel 8 geeft de resultaten weer van een experiment, waarbij het oog eerst aan een volledig duister gedurende een half uur werd geadapteerd ($\log B_1 = -\infty$). Vervolgens werd het oog plotseling geadapteerd aan een hooge helderheid B_2 ($\log B_2 = 3,503$). Op dezelfde wijze als dat sub a) is beschreven werd nu een serie bepalingen van den onderscheidingsdrempel verricht. Ter vereenvoudiging zijn in tabel 8 slechts waarden van $B_2/\Delta B_2$ weergegeven, die berusten op waarnemingen van het juist zichtbaar worden van de vlek.

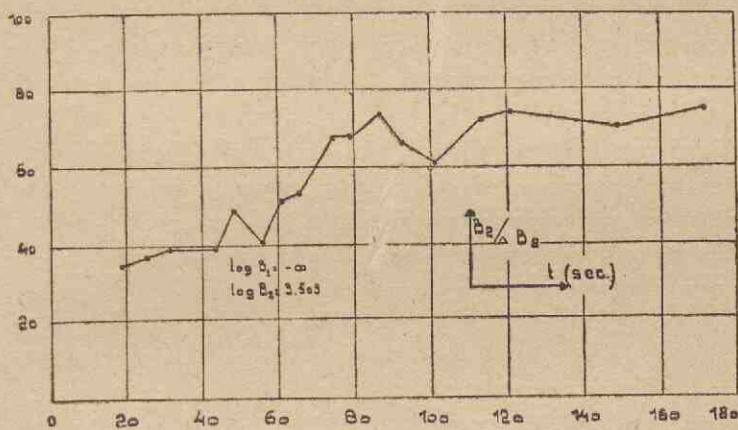


Fig. 9.

Wijziging der gevoeligheid (o.dr.) tijdens lichtadaptatie.

De in tabel 8 vermelde resultaten zijn graphisch uitgezet in fig. 9, waarin op de abscis is uitgezet de tijd na overgang van B_1 op B_2 in sec. en op de ordinaat $B_2/\Delta B_2$. We zien uit deze figuur, dat vooral de eerste waarnemingen tengevolge van de groote snelheid van het lichtadaptatieproces tamelijk onregelmatig zijn, maar het is toch duidelijk te zien, dat de gevoeligheid (o.dr.) stijgt, om tenslotte min of meer constant te worden en wel na ong. 75 seconden, zoodat we kunnen concluderen, dat voor volledige adaptatie aan een tamelijk hooge helderheid, nadat het oog oorspronkelijk volledig donker is geadapteerd slechts een zeer korten tijd noodig is. Het min of meer onnauwkeurige karakter van deze experimenten hield ons er van af deze bepalingen te herhalen voor

verschillende waarden van B_1 en B_2 . Wel hebben we getracht de tweede sub a) beschreven wijze van experimenteeren toe te passen op de lichtadaptatie en wel voor dezelfde waarden van B_1 en B_2 als in het hierboven geschetste experiment. Bij dit experiment werd dus na volledige donkeradaptatie plotseling de helderheid B_1 ($\log B_2 = 3,505$) aangeboden, terwijl de helderheid van de vlek reeds was ingesteld op een waarde, waarbij deze bij volledige adaptatie aan B_2 (van te voren bepaald) juist zichtbaar was. De tijd werd nu bepaald, noodig voor het wederom zichtbaar worden van de vlek. Dit experiment (eenige malen herhaald) voerde tot verrassend korte tijden (van de orde van 10 sec.) Weliswaar zijn deze tijden eenigszins in overeenstemming met de resultaten van Lohmann (106) (zie § 6), maar wij gelooven toch aan de volgens de andere methode bepaalde tijd van 75 seconden meer waarde te moeten toekennen.

Samenvattende kunnen we wat betreft de resultaten van ons onderzoek aangaande den invloed van de adaptatie op de gevoeligheid (o.dr.) zeggen, dat uit onze experimenten volgt, dat het niet geadapted zijn aan de uitgangshelderheid B de gevoeligheid (o.dr.) ongunstig beïnvloedt; dat deze invloed grooter is, naarmate het verschil tusschen B_1 en B_2 grooter is, terwijl de nadeelige invloed zich langer doet gelden bij grootere verschillen tusschen B_1 en B_2 .

Verder is bij gelijk verschil tusschen B_1 en B_2 de tijd, gedurende welke deze invloed zich doet gelden veel grooter voor donkeradaptatie dan voor lichtadaptatie.

§ 6. *Critische beschouwing van de resultaten der eigen experimenten aan de hand van de literatuur.*

Indien we thans de in § 4, § 5 en § 6 beschreven resultaten overzien, zullen wij goed doen deze te vergelijken met die gegevens uit de literatuur, die zich tot een dergelijke vergelijking leenen.

Ih. *Invloed van de uitgangshelderheid B op de gevoeligheid (o.dr.)*

Voor een vergelijking leenen zich, zooals in hoofdstuk II is uiteengezet het beste de resultaten van Hertel (78), aangezien deze evenals die van ons verkregen zijn onder condities, die zoo goed mogelijk die van het „vereenvoudigde objectieve beeld” benaderen, terwijl bovendien bij beide experimentenseries gewerkt werd met de intacte pupil. In fig. 10 geven we een vergelijking tusschen de resultaten van Hertel

verkregen voor een lichtvlek, die waarschijnlijk gezien werd onder een hoek $g = 120'$, met onze resultaten voor $g = 284'$. (in deze figuur werden onze waarden van $B/\Delta B$ met een factor 2 vermenigvuldigd, om de absolute waarden van $B/\Delta B$ met elkaar in overeenstemming te brengen) Men ziet, dat de overeenstemming van de resultaten na het invoeren van de genoemde correctie (die geoorloofd is, aangezien, zooals reeds eerder werd uiteengezet de absolute waarde van $B/\Delta B$ niet veel ter zake doet) zeer goed te noemen is. De hoogste door Hertel onderzochte helderheid heeft een waarde $\log B = 3,7$ (asb). De hoogste door ons onderzochte waarde bedraagt $\log B = 4,3$. Het blijkt nu, dat dit hooger opvoeren van B geen verandering in het karakter van de curve brengt. $B/\Delta B$ blijft ook bij deze hooge waarden van $\log B$ constant.

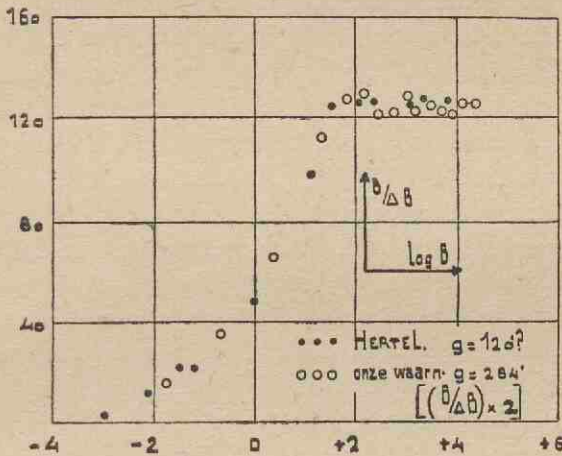


Fig. 10.

Vergelijking van onze resultaten met die van Hertel (78).

Onze resultaten voor kleinere waarden van g blijken verder goed in overeenstemming te zijn met die van Holladay (83) (die zich overigens voor een vergelijking minder goed leenen, aangezien hier de vorm van het element (B') gecompliceerd is, terwijl ΔB negatief is).

Omrekening van de resultaten van Stiles en Crawford (142, 145) voert ons tot het resultaat, dat $B/\Delta B$ min of meer constant is tusschen $\log B = 1,1$ en $\log B = 4,2$ voor $g = 60'$. Dit resultaat is niet geheel in overeenstemming met onze resultaten, want zooals we reeds eerder mededeelden vonden wij juist voor $g = 60'$ een enigszins afwijkend gedrag van de curve, zich uitende in het feit, dat $B/\Delta B$ nergens geheel constant is. De grenzen van Stiles en Crawford komen echter wel overeen met die van het gebied binnen hetwelk bij ons ook

de kromme duidelijk vlakker gaat lopen. Helaas geven schr. hun resultaten niet in den vorm van een tabel, zoodat een nauwkeurige vergelijking niet mogelijk is.

Indien we nu overzien, wat het resultaat is van een vergelijking van onze experimenteele gegevens met die van andere auteurs, die eveneens werkten onder condities, die de condities van het „vereenvoudigde objectieve beeld” benaderen, dan komen we tot de gevolgtrekking, dat het resultaat van een dergelijke vergelijking zeer bevredigend is. Men kan dus aannemen, dat onder deze condities de waarde van $B/\Delta B$ met het toenemen van $\log B$ aanvankelijk stijgt, om tenslotte min of meer constant te worden en constant te blijven tot aan zeer hooge waarden van $\log B$ ($\log B = 4,3$ en waarschijnlijk hooger).

Indien we nu echter onze resultaten vergelijken met die van experimenten, die niet verricht zijn onder condities, die die van het „vereenvoudigde objectieve beeld” benaderen, in het bijzonder met die experimenten, waarbij de onderscheidingsdrempel bepaald werd voor een gehalveerd photometerveld, in welke groep o.a. de experimenten van König en Brodhun (96, 98), Houstoun (87—90), Lowry (108) e.a. moeten worden gerangschikt, dan levert de vergelijking een minder bevredigend resultaat op. Het voornaamste verschil tusschen de resultaten van deze laatste schrijvers en die van de hiervoor genoemde schrijvers, waaronder we eveneens onze eigen resultaten willen rangschikken, is hierin gelegen, dat de laatstgenoemde groep auteurs allen van meening zijn, dat de waarde van $B/\Delta B$ na aanvankelijk bij het toenemen van $\log B$ te zijn gestegen een duidelijken top bereikt, waarna $B/\Delta B$ weer zou gaan dalen. Op zichzelf is het feit, dat bij hooge waarden van $\log B$ een daling van de gevoeligheid $B/\Delta B$ plaats heeft niet verwonderlijk; we moeten zelfs a priori aannemen, dat bij zeer hooge waarden van $\log B$ een dergelijke daling plaats heeft. De genoemde schrijvers vinden deze daling echter reeds in een helderheidsgebied, waarin bij de experimenten onder de condities van het „vereenvoudigde objectieve beeld” $B/\Delta B$ nog constant blijft. De waarde van $\log B$, waarbij deze top in de gevoeligheidscurve optreedt wordt aangegeven als volgt:

König en Brodhun (98)	$\log B = 2,9$ (berekening volgens Hecht (59))
Houstoun (90)	$\log B = 2,3$
Lowry (108)	$\log B = 2,4 - 2,7$

Dit afwijkende resultaat kan zeker niet verklaard worden door het feit, dat de hier genoemde onderzoekers hun resultaten verkregen voor een kleine artificieele pupil. Het ligt dus voor de hand aan te nemen,

dat hier compliceerende factoren aanwezig zijn geweest. Als voornaamste compliceerende factor zouden wij den adaptatietoestand van het gezichtsorgaan willen aanwijzen. Op blz. 43 werd reeds uiteengezet, dat experimenten van het hier genoemde type zeer gemakkelijk leiden tot een wijziging van den adaptatietoestand tijdens het experiment. De opvatting, dat de adaptatietoestand de dyscongruentie tusschen onze resultaten en die van de laatst genoemde schrijvers verklaart vindt steun in het feit, dat Steinhardt (140) bij zijn experimenten met behulp van gehalveerde photometervelden onder zoo goed mogelijk gecontroleerden adaptatie van het gezichtsorgaan aan de uitgangshelderheid B een dergelijke daling van $B/\Delta B$ bij de hogere waarden van $\log B$ niet vindt.

Samenvattende kunnen we dus zeggen, dat onze resultaten en die van andere auteurs, die gewerkt hebben onder condities, die de condities van het „vereenvoudigde objectieve beeld” benaderen ons leeren, dat, mits men zorg draagt, dat het gezichtsorgaan volledig aan de uitgangshelderheid B is geadapteerd, de gevoeligheid (o.dr.) voor iedere waarde van g bij toename van $\log B$ aanvankelijk stijgt, om vervolgens constant te worden en constant te blijven tot bij zeer hoge waarden van $\log B$ ($\log B = 4,3$ en waarschijnlijk hoger).

De waarde van $\log B$, waarbij $B/\Delta B$ constant wordt is o.a. afhankelijk van den gezichtshoek g , waaronder het element (B') wordt waargenomen.

I**fb.** Invloed van den gezichtshoek g , waaronder het element (B') wordt waargenomen op de gevoeligheid (o.dr.) $B/\Delta B$.

Onze resultaten betreffende den invloed van den hoek g , waaronder het element (B') wordt gezien op de gevoeligheid (o.dr.) stemmen in zooverre overeen met datgene wat hierover in de literatuur wordt beschreven, dat alle auteurs het erover eens zijn, dat bij toename van g de gevoeligheid (o.dr.) $B/\Delta B$ toeneemt. Geen van de in de literatuur beschreven experimenten leent zich echter voor een quantitative vergelijking, aangezien voor zoover ons bekend nooit eerder de invloed van g op $B/\Delta B$ is onderzocht onder condities, die die van het „vereenvoudigde objectieve beeld” benaderen.

Wat betreft het tweeledige karakter van deze betrekking bij hogere waarden van B , zooals dat door ons werd gevonden, vinden we in de literatuur slechts weinig steun. Dit behoeft ons echter niet te verwonderen, aangezien slechts weinig auteurs dit verband systematisch hebben onderzocht voor een breed variatiegebied van g en van B . Op blz. 47

vermelden we echter resultaten van de oude onderzoeken van *Simon* (138), die tot de conclusie komt, dat bij hogere waarden van B een top optreedt in de curve, die de betrekking tusschen de gevoeligheid (o.dr.) en den gezichtshoek g , waaronder het element (B') wordt beschouwd, aangeeft, welke top zou liggen bij een waarde van g tusschen $15'$ en $30'$. Bij lage helderheden zou deze top wegvallen en het maximum van de gevoeligheid zich verplaatsen naar $g = 2^0$ en hoger. Dit resultaat stemt dus kwalitatief frappant overeen met dat van ons, maar quantitatief is er een verschil. Wij vinden namelijk den top in de gevoeligheid (o.dr.) voor hogere waarden van B bij $g = 60'$. Wij kunnen voor dit verschil in resultaat geen verklaring vinden, tenzij we aannemen, dat bij de experimenten van *Simon* de fixatie minder goed was, dan bij onze experimenten, waardoor het element (B') met een grooter retinagebied wordt waargenomen, dan bij onze experimenten. Verder vindt onze opvatting nog steun in eenige experimenten van *Houstoun* (87), verricht met behulp van gehalveerde photometervelden, waarbij een maximum van de gevoeligheid werd gevonden voor $g = 75'$.

Ia. Invloed van den adaptatietoestand van het gezichtszintuig op de gevoeligheid (o.dr.).

Wat betreft den invloed van den adaptatietoestand van het gezichtsorgaan op de gevoeligheid (o.dr.) leenen zich voor een vergelijking der resultaten slechts de onderzoeken van *Crawford* (29). Qualitatief stemmen de resultaten van dezen schrijver met de onze goed overeen. Een quantitatieve vergelijking wordt zeer bemoeilijkt door het feit, dat de schrijver in dit artikel van zijn goede gewoonte afwijkt de resultaten weer te geven in den vorm van tabellen. Voor een nauwkeurige vergelijking zouden we de resultaten uit de curven terug moeten rekenen en daarna deze resultaten herleiden tot de door ons toegepaste helderheidseenheid. Aangezien het hier een zeer uitvoerig artikel betreft is een dergelijke handelwijze zeer tijdroovend, zoodat we besloten hebben de resultaten van een dergelijke vergelijking in een afzonderlijk artikel te publiceeren, waarbij we dan tevens in de gelegenheid zullen zijn onze resultaten te toetsen met behulp van de zoog. „*aequivalent background hypothesis*” (zie blz. 57).

Samenvattende kunnen we zeggen, dat een vergelijking van onze in § 3, § 4 en § 5 beschreven resultaten met de resultaten van andere auteurs, ons leert, dat, voor zoover een directe vergelijking mogelijk is, tusschen deze resultaten en die van ons een goede overeenstemming bestaat.

§ 7. Slotbeschouwing.

In dit hoofdstuk werden de resultaten besproken van een serie experimenten, waarin met behulp van een in § 2 beschreven proefopstelling de invloed van drie factoren op de gevoeligheid (o.dr.) werd nagegaan.

Deze experimenten leerden ons het volgende:

- Ih. *Bij toenemen van de uitgangshelderheid B neemt de gevoeligheid (o.dr.) $B/\Delta B$ aanvankelijk toe, om tenslotte constant te worden en constant te blijven tot bij zeer hoge waarden van B ($\log B = 4,2$). Het verloop van de curve, die de genoemde betrekking weergeeft wordt in hoge mate bepaald door de grootte van den gezichtshoek g , waaronder het element (B') wordt waargenomen. Voor een waarde van $g = 60'$ neemt de curve een eigenaardigen vorm aan.*
- Ijb. *Bij toenemen van g neemt de gevoeligheid (o.dr.) toe. Bij lage waarden van B geschiedt dit toenemen continu, terwijl bij hoogere waarden van B de curve een tweeledig karakter aanneemt met een eerste maximum bij $g = 60'$.*
- Ia. *De adaptatietoestand van het gezichtsorgaan heeft een aanzienlijken invloed op de gevoeligheid (o.dr.) in dien zin, dat de gevoeligheid onder alle omstandigheden het grootst is, indien het gezichtsorgaan volledig is geadapteerd aan de uitgangshelderheid B . De invloed van dezen factor doet zich bij donkeradaptatie veel langer gelden, dan bij lichtadaptatie.*

Tenslotte leerde een critische beschouwing van de resultaten ons, dat deze, voor zoover vergelijking mogelijk is, in het algemeen in goede overeenstemming zijn met de in de literatuur vermelde gegevens.

HOOFDSTUK IV.

UITWERKING VAN HET PROBLEEM.

Inleiding; de gezichtsscherpte; het instellen van subjectief even groote helderheidstrappen; toepassing van het hiervoor behandelde op het door ons gestelde probleem; praktische consequenties; de Röntgendoorlichting; slotbeschouwing.

§ 1. *Inleiding.*

In hoofdstuk I werd uiteengezet, dat voor een analyse van het probleem, dat we in dat hoofdstuk stelden, een goed inzicht in de wijze, waarop de gevoeligheid van het gezichtszintuig door verschillende factoren wordt beïnvloed, noodzakelijk is. Het bleek, dat van de middelen, die ons ten dienste staan om iets over die gevoeligheid te weten te komen er drie voor de analyse van ons probleem van bijzonder belang zijn en wel de bepaling van:

- I. den onderscheidingsdrempel,
- II. de gezichtsscherpte,
- III. de waarden, die de helderheden van een serie objectieve elementen moeten hebben, om aanleiding te geven tot subjectief even groote helderheidstrappen.

In de hoofdstukken II en III is aan den onderscheidingsdrempel in een literatuurstudie, aangevuld door eigen experimenten, veel aandacht besteed.

In dit hoofdstuk willen we nu een oogenblik onze aandacht besteden aan datgene, wat de literatuur ons leert omtrent:

- II. de gezichtsscherpte,
- III. de waarden, die de helderheden van een serie objectieve elementen moeten hebben, om in het bewustzijn van den waarnemer aanleiding te geven tot een reeks subjectief even groote helderheidstrappen.

Hierna zullen we trachten het in hoofdstuk I gestelde probleem met

behulp van het feitenmateriaal, dat in dit proefschrift is beschreven, te benaderen. Tenslotte zullen we nagaan, welke practische consequenties uit deze analyse voortkomen.

§ 2. II. *De gezichtsscherpte.*

Onder gezichtsscherpte willen we hier verstaan de reciproke waarde van den kleinsten gezichtshoek tusschen twee objectieve helderheidselementen, die in het bewustzijn van den waarnemer aanleiding geven tot het waarnemen van twee in verschillende (subjectieve) richting gelegen subjectieve elementen.¹⁾

De gezichtsscherpte is een veel meer gecompliceerde functie van het gezichts-zintuig, dan de gevoeligheid (o.dr.). Dit zal blijken, indien we nagaan welke factoren de gezichtsscherpte kunnen beïnvloeden. We zullen daarbij verstandig doen deze factoren op dezelfde wijze te rangschikken, als we dit in hoofdstuk II hebben gedaan met de factoren, die de gevoeligheid (o.dr.) beïnvloeden:

Factoren, die den toestand van het waarnemende gezichts-zintuig betreffen:

IIa. *Adaptatietoestand van het gezichtsorgaan.*

IIb. *Monoculaire of binoculaire waarneming.*

IIc. *Oppervlakte van de effectieve pupil.*

IId. *Compliceerende factoren.*

IIda. *Individueele verschillen in gezichtsscherpte.*

IIdb. *Oefening.*

IIdc. *Aandacht, concentratie enz.*

IIdd. *Vermoeibaarheid.*

IIde. *Gelijktijdige aanwezigheid van andere prikkels.*

Factoren, die de eigenschappen van het objectieve beeld betreffen:

IIe. *Relatieve energieverdeeling in het spectrum van het licht.*

IIf. *Ruimtelijke verhoudingen, waaronder de elementen worden waargenomen.*

IIfa. *Algemeene ruimtelijke constellatie der elementen (zie hieronder).*

¹⁾ Dikwijls wordt de gezichtsscherpte op een wat andere wijze gedefinieerd, terwijl dan het begrip, dat we hier aanduiden met gezichtsscherpte, als „minimum separabile” wordt aangeduid.

- IIfb. zou moeten luiden: „gezichtshoek, waaronder de te beoordeelen elementen ten opzichte van elkaar worden gezien.” Het zal duidelijk zijn dat deze factor vervalt. De gezichtshoek, waaronder de elementen worden waargenomen bepaalt immers juist per definitionem de gezichtsscherpte.
- IIfc. Aanwezigheid van bijzondere elementen in het gezichtsveld.
- IIfd. Beweging van elementen in het (objectieve) gezichtsveld.
- IIg. Tijdelijke verhoudingen, waaronder de elementen worden waargenomen.
- IIh. Invloed van de uitgangshelderheid.
- IIi. Algebraïsch teeken van het helderheidsverschil tusschen achtergrond en te beoordeelen elementen (m.a.w. de vraag of de te beoordeelen elementen lichter of donkerder zijn dan hun achtergrond).

Aan deze serie factoren moet nu nog een zeer belangrijke worden toegevoegd en wel:

- IIj. Grootte van het helderheidsverschil tusschen de te beoordeelen elementen en hun achtergrond.

ad IIfa. *Algemeene ruimtelijke constellatie der elementen.*

De algemeene ruimtelijke constellatie der elementen is bij bepalingen van de gezichtsscherpte principieel meer gecompliceerd dan bij bepalingen van den onderscheidingsdrempel. Er zullen namelijk steeds *minstens drie* elementen in het gezichtsveld aanwezig moeten zijn (de twee elementen, waartusschen de gezichtshoek moet worden beoordeeld en minstens één derde element, dat als achtergrond voorkomt). Verder speelt de vorm van de te beoordeelen elementen een groote rol (veldjes van verschillende vorm, lijnen enz.).

Over den invloed van een aantal van de hier genoemde factoren op de gezichtsscherpte is min of meer uitvoerig experimenteel werk verricht en wel aangaande:

- IIb. monoculaire of binoculaire waarneming;
- IId. compliceerende factoren;
- IIe. relatieve energieverdeeling in het spectrum van het licht;
- IIf. ruimtelijke verhoudingen, waaronder de elementen worden waargenomen;
- IIh. grootte van de uitgangshelderheid (men kan hier beter zeggen achtergrondshelderheid);
- IIi. algebraïsch teeken van het helderheidsverschil tusschen achtergrond en te beoordeelen elementen;

IIj. grootte van het helderheidsverschil tusschen achtergrond en te beoordeelen elementen.

Van de hier genoemde factoren zijn de onder IIh en IIj genoemde voor de bestudeering van ons probleem van veel beteekenis, vooral in verband met hetgeen we in hoofdstuk II en III aangaande de gevoeligheid (o.dr.) hebben besproken. Wij zullen ons dan ook beperken tot een bespreking van datgene, wat de literatuur ons omtrent den invloed van deze beide factoren op de gezichtsscherpte kan leeren.

ad IIh. *Invloed van de uitgangshelderheid B op de gezichtsscherpte.*

De literatuur betreffende den invloed van de uitgangshelderheid B op de gezichtsscherpte tot 1937 is door Hecht in een aantal artikelen samengevat (60a, 61, 69).

In deze artikelen komt schr. tot de conclusie, dat het beste experimenteele materiaal wordt verschaft door de onderzoeken van König (97), waarvan de resultaten bevestigd werden door het onderzoek van Roelofs en Zeeman (133a), hoewel ook uit de oudere onderzoeken reeds veel belangrijks aangaande deze betrekking is af te leiden, zoo bijv. uit de onderzoeken van Mayer (117), Uthoff (149), Posch (128), Klein (95), Cohn (28) enz. Voor modernere onderzoeken verwijzen we nog naar Houston (87) en Hirasawa (81).

Evenals Hecht zullen wij de onderzoeken van König (97) als uitgangspunt voor onze beschouwingen kiezen. Bij deze experimenten werd de gezichtsscherpte bepaald met behulp van een object, dat in oogheelkundige kringen meestal wordt aangeduid als „haak van Snellen”. De proefpersoon heeft hierbij de opdracht de richting aan te geven, waarheen de punten van den haak wijzen. Indien hij hierin nog slaagt, indien de haak wordt gezien onder een hoek van 5' noemt men de gezichtsscherpte = 1. De gezichtsscherpte wordt nu gegeven door de formule

$$V = \frac{d}{D}$$

waarin

V = (visus) = gezichtsscherpte.

d = afstand, waarop de richting van de punten van den haak nog juist goed wordt aangegeven.

D = afstand, waarop deze haak wordt gezien onder een hoek van $5'$.

De resultaten van König voor wit licht worden weergegeven in tabel 8, die gebaseerd is op een tabel van Hecht (62), waarin de gegevens van König op een wat eenvoudiger manier zijn gerangschikt, terwijl door ons de eenheid van helderheid is herleid tot apostilbs.

TABEL 8.

Gegevens van König (97), bewerkt door
Hecht (62). Intacte pupil.

log B (asb)	Gezichtsscherpte
0,47 - 4	0,040
0,11 - 3	0,068
0,59 - 3	0,075
0,88 - 3	0,093
0,43 - 2	0,13
0,84 - 2	0,18
0,05 - 1	0,22
0,18 - 1	0,28
0,33 - 1	0,31
0,45 - 1	0,39
0,60 - 1	0,45
0,83 - 1	0,56
0,92 - 1	0,61
0,14	0,72
0,33	0,75
0,77	1,00
0,99	1,00
1,17	1,12
1,55	1,30
1,95	1,44
2,42	1,61
2,82	1,69
3,19	1,68
4,04	1,71

In fig. 11 geven de opgevulde cirkeltjes het verloop van de gezichtsscherpte tegenover log B aan. We zien uit deze figuur, dat met het toenemen van log B de gezichtsscherpte aanvankelijk langzaam, daarna sneller toeneemt, om tenslotte min of meer constant te worden en constant te blijven tot een waarde van log $B = 4,0$ d.w.z. tot $B = 10000$ asb.

A priori moeten we aannemen, dat bij zeer hoge waarden van log B de gezichtsscherpte weer zal gaan dalen (indien men bijv. een letter zou moeten lezen, die is aangebracht op een vlak met de helderheid van de zonnenschijf, weet men zonder experiment reeds, dat dit tot een zeer ongunstige waarde van de gezichtsscherpte zou voeren). Evenals we

dat echter zagen bij den invloed van de uitgangshelderheid op de gevoeligheid (o.dr.) blijkt ook voor de gezichtsscherpte de waarde van $\log B$, waarbij deze daling intreedt, zeer hoog te liggen.

Het ligt voor de hand, dat men getracht heeft een vergelijking te maken tusschen de resultaten van onderzoekers, die het verband tusschen uitgangshelderheid en gevoeligheid (o.dr.) eenerzijds en uitgangshelderheid en gezichtsscherpte anderzijds experimenteel hebben onderzocht. Het komt ons nu voor, dat bij die vergelijking een belangrijk feit over het hoofd is gezien. Men heeft namelijk steeds een vergelijking trachten te maken tusschen resultaten van onderscheidingsdrempelbepalingen voor elementen, die gezien werden onder een tamelijk grooten hoek g , met resultaten van gezichtsscherptebepalingen, die vanzelfsprekend altijd plaats moeten hebben voor elementen, die onder een zeer kleinen hoek worden gezien.

Zoo komt H e c h t (60a, 61, 69 enz.) tot de conclusie, dat de betrekking tusschen uitgangshelderheid en gevoeligheid (o.dr.) eenerzijds en gezichtsscherpte anderzijds beide logisch volgen uit één vaststaande functie, die de statistische verdeling van de gevoeligheid van de verschillende individuele elementen beschrijft. Zijn theoretisch afgeleide curven voor den invloed van de uitgangshelderheid op de gezichtsscherpte zijn inderdaad met de gegevens van K ö n i g in schitterende overeenstemming.

H o u s t o u n (86—90) tracht het verband tusschen gezichtsscherpte en uitgangshelderheid af te leiden uit de functie, die de gevoeligheid (o.dr.) met de uitgangshelderheid verbindt, door aan te nemen, dat de eerste door integratie uit de laatste volgt. Zooals wij reeds op blz. 55 mededeelden meent H o u s t o u n, dat het verband tusschen $B/\Delta B$ en $\log B$ kan worden beschreven door een functie van het type

$$y = e^{-\frac{x^2}{2}}$$

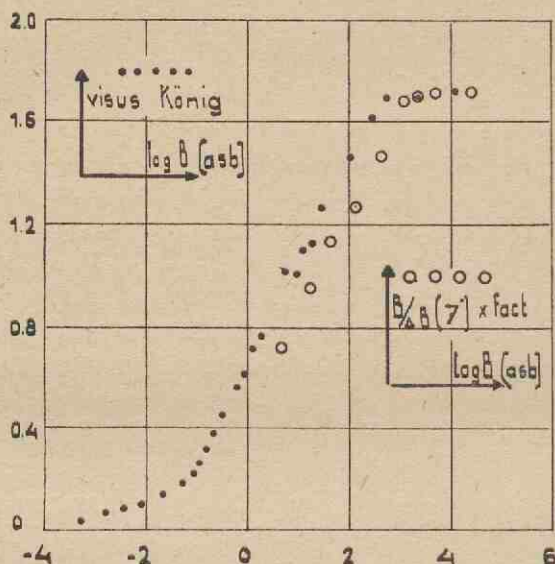
waarin y staat voor $B/\Delta B$ en x voor $\log B$.

Hij meent nu, dat het verband tusschen gezichtsscherpte en uitgangshelderheid kan worden beschreven door een functie van het type

$$y = \int_{-\infty}^x e^{-\frac{x^2}{2}} dx$$

waarin y staat voor gezichtsscherpte en x voor $\log B$. Deze laatste vergelijking is verkregen door integratie van de voorgaande.

Aangezien echter de experimenteele gegevens, waarop Houston zijn eerste vergelijking opbouwt ten gevolge van het feit, dat niet voldoende rekening werd gehouden met den adaptatietoestand van het gezichtsorgaan (zie blz. 43) niet in overeenstemming met de werkelijkheid zijn, kan deze mathematische beschouwing geen algemeene geldigheid hebben.



Figuur 11.

Wij hebben ons nu afgevraagd, wat het resultaat zou zijn van een vergelijking van onze resultaten van onderscheidingsdrempelbepalingen voor het kleinste door ons onderzocht element (zie tabel 3; $g=7'$) met de resultaten van König betreffende den invloed van de uitgangshelderheid op de gezichtsscherpte. Wij hebben daarom in fig. 11 (open cirkeltjes) onze resultaten van de metingen van $B/\Delta B$ tegenover $\log B$ uitgezet, waarbij we $B/\Delta B$ hebben vermenigvuldigd met een zekeren factor, om de vlakke gebieden van de beide curven op gelijke hoogte te krijgen. We zien uit deze figuur, dat de curven van König en die van ons niet volledig met elkaar in overeenstemming zijn. Het stijgende deel van onze curve blijkt namelijk rechts van die van König te liggen. Wanneer we echter in overweging nemen, dat het hier een vergelijking geldt tusschen bepalingen van twee verschillende functies van het gezichtsorgaan door twee verschillende onderzoekers, moeten we toch getroffen worden door de vele punten van overeenstemming tusschen

de resultaten, welke overeenstemming zich vooral uit in de gelijke helling van het opstijgende deel van de curve en de waarde van $\log B$, waarbij de curven vlak gaan lopen. Het lijkt ons daarom van groot belang, dat ééNZelfde onderzoeker metingen verricht van de gevoeligheid (o.dr.) voor zeer kleine elementen en de gezichtsscherpte. Voorloopig zouden we op grond van het hier vermelde de conclusie willen trekken, dat de functie, die de betrekking tusschen uitgangshelderheid en foveale gezichtsscherpte weergeeft, waarschijnlijk min of meer overeenkomt met de functie, die de betrekking tusschen gevoeligheid (o.dr.) en uitgangshelderheid voor kleine gezichtshoeken van het element (B') weergeeft. Het zou verder van groot belang zijn na te gaan, of er een waarde van g gevonden kan worden, waarbij de beide functies geheel identiek zijn.

ad IIj. *Invloed van het helderheidsverschil tusschen achtergrond en te beoordeelen elementen op de gezichtsscherpte (contrast in verlichtingskundige en Röntgenologische beteekenis).*

Het is zonder meer begrijpelijk, dat de verhouding tusschen de helderheid van den achtergrond en die van het te beoordeelen element invloed zal uitoefenen op de grootte van de gezichtsscherpte, terwijl men zelfs rekening moet houden met de mogelijkheid, dat deze verhouding het karakter van de functie beïnvloedt, die het verband tusschen uitgangshelderheid en gezichtsscherpte weergeeft.

Op eenigszins verwarrende wijze duiden nu een aantal moderne auteurs de relatie tusschen de helderheid van het object en zijn achtergrond aan met het woord „contrast”. Indien we nu, evenals we dat bij de bespreking van den onderscheidingsdrempel hebben gedaan, de helderheid van den achtergrond aanduiden met B en die van het object met B' , dan kunnen we voor een donker object op lichter achtergrond het contrast uitdrukken door de formule

$$C = \frac{B - B'}{B}$$

en voor een licht object op donkeren achtergrond door de formule

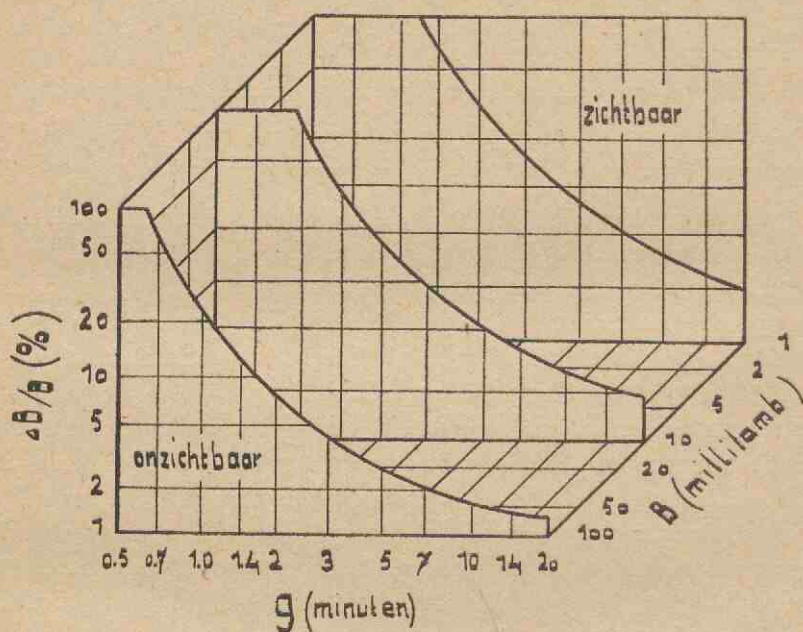
$$C = \frac{B' - B}{B}$$

meestal drukt men het contrast uit in % dan worden de formules

$$C = 100 \frac{B - B'}{B} \qquad C = 100 \frac{B' - B}{B}$$

Aangezien we hebben vastgesteld, dat we de term „contrast” slechts zullen gebruiken voor „contrast in physiologisch-optische beteekenis” zullen we in het vervolg de hierboven besproken beteekenis van contrast aanduiden met „contrast (techn.)”, d.w.z. „contrast in technische beteekenis”, terwijl we zoonoodig de andere beteekenis zullen aanduiden met „contrast (physiol.)”.

We moeten ons nu realiseeren, dat de gezichtsscherpte een functie is van een groot aantal factoren, waarvan echter de uitgangshelderheid B en het contrast (techn.) C de belangrijkste zijn. Graphisch kunnen we deze betrekking weergeven in den vorm van een drie-dimensionale figuur.



Figuur 12.

Zoo geven Luckiesh en Moss in een dergelijke drie-dimensionale figuur het verband aan tusschen de voornaamste factoren, die de gevoeligheid (o.dr.) beïnvloeden. De gevoeligheid (o.dr.), die hier is uitgedrukt als % contrast (techn.), hetgeen in onze terminologie luidt $\Delta B/B$ in %, wordt in deze figuur weergegeven als functie van de uitgangshelderheid B en den gezichtshoek, waaronder het element wordt beschouwd (g). Fig. 12 is ontleend aan de afbeelding van Luckiesh en Moss (109a). De functie, die de drie variabele grootheden met elkaar in verband brengt wordt hier voorgesteld door het vlak, dat door

de drie gebogen lijnen kan worden gebracht. Op een dergelijke wijze moet men zich nu ook het verband tusschen gezichtsscherpte, uitgangshelderheid en contrast (techn.) voorstellen als een vlak van bepaalde vorm in een drie-dimensionaal coördinatensysteem.

Willen we een grooter aantal factoren in de functie betrekken, dan is een graphische weergave in een coördinatensysteem niet meer mogelijk. We kunnen ons dan nog slechts redden met behulp van een zoog. nomogram. In de door ons geraadpleegde literatuur betreffende gevoeligheid (o.dr.) en gezichtsscherpte hebben we een dergelijk nomogram nooit ontmoet. Helaas zijn onze eigen experimenteele gegevens betreffende de gevoeligheid (o.dr.) voor het opstellen van een nomogram niet voldoende „homogeen”.

Samenvattende kunnen we zeggen, dat gezichtsscherpte en gevoeligheid (o.dr.) afhankelijk zijn van een groot aantal factoren, waarvan echter voor beide de uitgangshelderheid B verreweg de belangrijkste is. Vermoedelijk zijn echter de (foveale) gezichtsscherpte en de (foveale) onderscheidingsdrempel (dus voor zeer kleinen hoek g) op ongeveer dezelfde wijze afhankelijk van de uitgangshelderheid B .

§ 3. III. *De gevoeligheid van het gezichtsorgaan beoordeeld op grond van het instellen van subjectief even groote helderheidstrappen.*

Op blz. 22 en 23 zetten we uiteen, dat het rangschikken van een serie objectieve helderheidselementen op een zoodanige wijze, dat ze in het bewustzijn van den waarnemer aanleiding geven tot een serie subjectief even groote helderheidstrappen een zeer belangrijk hulpmiddel is ter verkrijging van een oordeel betreffende de gevoeligheid van het gezichtsorgaan en verder dat deze methode waarschijnlijk het theoretisch minst aanvechtbare middel is, ter verkrijging van een inzicht in het verband tusschen objectieve helderheid en subjectieve helderheidssensatie.

De vraag, die we ons dus bij een dergelijk onderzoek stellen is deze:

Indien een aantal objectieve helderheidselementen B, B', B'', B''' enz. zoo gerangschikt zijn, dat de daarmee in het bewustzijn van den waarnemer overeenkomende subjectieve helderheidsverschillen, die we zullen aanduiden als $H' - H; H'' - H'; H''' - H''$ enz. even groot zijn, welke is dan de relatie tusschen B, B', B'', B''' enz.

De meeste onderzoekers, die zich met deze quaestie hebben bezig gehouden, verrichtten hun experimenten om de geldigheid van de wet van Weber (Fechner) te toetsen. Deze wet zouden we, toegepast op de instelling van gelijk groote subjectieve helderheidstrappen, kunnen formuleeren als volgt:

Even groote subjectieve helderheidsverschillen tusschen een aantal subjectieve helderheidselementen correspondeeren met even groote verhoudingen van de helderheden van de daarmee corresponderende objectieve elementen, of in symbolen uitgedrukt:

$$\begin{aligned} \text{Indien } H' - H &= H'' - H' = H''' - H'' = d \\ \text{dan is } B'/B &= B''/B' = B'''/B'' = c \end{aligned}$$

waarin c en d constanten zijn.

of nog anders uitgedrukt:

Indien de subjectieve helderheden van een aantal subjectieve elementen zijn gerangschikt volgens een rekenkundige reeks, dan zijn de helderheden van de daarmee corresponderende objectieve elementen gerangschikt volgens een meetkundige reeks.

Op blz. 55 formuleerden we de wet van Weber (Fechner), toegepast op de gevoeligheid (o.dr.) als volgt:

$$B/\Delta B = c$$

Om nu deze formuleering in overeenstemming te brengen met het hierboven behandelde moeten we deze formuleering iets omwerken:

$$\begin{aligned} \text{Indien } B/\Delta B &= \text{const.} = c \\ \text{dan is } \Delta B/B &= 1/c = \text{const.} = c' \end{aligned}$$

$$\text{daaruit volgt } \frac{B + \Delta B}{B} = c' + 1 = \text{const.} = c''$$

$$\begin{aligned} \text{wij stelden } B + \Delta B &= B' \\ \text{waaruit volgt } B'/B &= \text{const.} = c'' \end{aligned}$$

waarin de formuleering meer in overeenstemming is gebracht met de formuleering, zooals wij die hierboven, toegepast op de instelling van subjectief even groote helderheidsverschillen gaven.

De al of niet geldigheid van de hier als „wet van Weber—Fechner” aangeduide wet kan dus experimenteel in principe volledig worden bestudeerd. Dit geldt niet voor de veelal als „wet van Fechner” aangeduide zeer algemeene betrekking, waarmede men poogt het verband aan te geven tusschen de sensatie en den prikkel en die meestal zoo wordt geformuleerd, dat de grootte van de sensatie recht evenredig is met de logarithme van den prikkel, of in formule

$$S = k \log R$$

waarin

S = grootte van de bij den prikkel R behorende sensatie.

R = grootte van den prikkel, die aanleiding geeft tot de sensatie S .
 k = constante.

Deze laatste wet, die door mathematische integratie zou volgen uit de door ons als wet van Weber—Fechner aangeduide wet kan niet experimenteel worden geverifieerd, aangezien, zooals we dat reeds uiteenzetten, de grootte van een sensatie niet kan worden aangegeven.

De omvangrijke literatuur betreffende de wet van Weber—Fechner wordt in hooge mate gecompliceerd door het feit dat verschillende auteurs niet duidelijk definieeren, wat ze onder deze wet verstaan. Wanneer wij dan ook, evenals andere auteurs, tot de conclusie komen, dat deze wet in een bepaald gemiddeld helderheidsgebied geldigheid heeft, wil dat nog niet altijd zeggen, dat deze beide conclusies hetzelfde inhouden, want dikwijls werd het ons bij de bestudeering van de resultaten van deze auteurs duidelijk, dat in het gebied, waarin zij aannemen, dat geldigheid bestaat, deze volgens onze definitie niet bestaat. Deze onzekerheid in de definitie is dan ook oorzaak, dat wij het gebied, waarin de wet bij benadering geldt bij een hoogere helderheid vinden, dan de hiervoor genoemde auteurs.

Voor de gevoeligheid (o.dr.) bleek de wet van Weber (Fechner) geldigheid te hebben binnen een beperkt variatiegebied van B (zie fig. 5), en wel in dat gebied, waar de krommen van fig. 5 een plateau bereiken. We kunnen ons nu afvragen, of voor de instelling van subjectief even groote helderheidstrappen een dergelijke wetmatigheid ook geldig is.

Dit probleem is door een groot aantal onderzoekers experimenteel onderzocht. Indien we de uitkomsten van al deze experimenten zien, dan blijkt het zeer moeilijk te zijn hieruit gevolgtrekkingen te maken. Het blijkt namelijk, dat de ruimtelijke verhoudingen, waaronder de elementen worden waargenomen, de resultaten op een buitengewoon gecompliceerde wijze beïnvloeden. Aangezien er namelijk bij deze experimenten noodzakelijkerwijze in het gezichtsveld elementen aanwezig zijn, die onderling veel in helderheid verschillen, gaat een groep van verschijnselen, die we als „contrast (physiol.)” aanduiden hier een zeer groote rol spelen. Verder is de mate waarin en de wijze waarop het contrast de resultaten beïnvloedt in hooge mate afhankelijk van de ruimtelijke constellatie der elementen en van de absolute waarde van de objectieve helderheid der elementen, terwijl bovendien de invloed van het contrast nog verschillend is voor het geval, dat het element, dat zijn contrastinvloed doet gelden een grootere of kleinere helderheid heeft, dan het element, dat erdoor beïnvloed wordt. Tenslotte is het niet goed mogelijk aan te

wijzen welk element den contrastinvloed uitoefent en welk element contrastief wordt beïnvloed, want alle in het gezichtsveld aanwezige elementen beïnvloeden elkaar. De onderzoekers, die zich met deze quaestie hebben bezig gehouden, hebben dan ook altijd getracht dezen contrastinvloed zoo goed mogelijk te elimineeren. Wij verwijzen hierbij naar het werk van Plateau (127), Delboeuf (35), Lehmann (104), Neiglick (122), Ebbinghaus (44), Ament (3), Fröbes (53), Heine (72), Benussi (7), Mintz (119) e.a.

De pogingen den contrastinvloed te elimineeren hebben echter nooit volledig succes gehad en dit verwondert ons niet. Het optreden van contrast is onvermijdelijk, wanneer in het gezichtsveld meer dan één helderheidselement aanwezig is.

Voor ons Röntgenologische probleem hebben experimenten, waarbij het contrast geëlimineerd wordt, bovendien slechts zeer betrekkelijke waarde. Bij het beoordeelen van het photogram zal de wederzijdsche contrastbeïnvloeding van de verschillende elementen immers steeds aanwezig zijn.

Het zou ons veel te ver voeren, indien we het geheele probleem van de instelling van subjectief even groote helderheidstrappen hier zouden trachten te analyseeren. Wij kunnen ons slechts afvragen, of de resultaten van experimenten, waarbij objectieve elementen volgens subjectief even groote helderheidstrappen worden gerangschikt ons omtrent de gevoeligheid van het gezichtsorgaan bij benadering hetzelfde leeren als die, waarbij de gevoeligheid wordt beoordeeld op grond van de meting van den onderscheidingsdrempel.

Bij het bestudeeren van de hierboven vermelde literatuur krijgt men nu den indruk, dat inderdaad beide methoden tot eenigszins overeenstemmende resultaten voeren. Zoo vindt bijv. Ebbinghaus, dat indien men uit een aantal grijze papieren met verschillende nuance een serie uitzoekt, die den indruk maakt in gelijke subjectieve helderheidstrappen omhoog te gaan, de quotienten van telkens twee opeenvolgende helderheden van deze papieren, die we hier zullen aanduiden als B'/B , B''/B' , B'''/B'' enz. resp. bedragen 2,3, 2,1, 2,1, 1,8, 1,7, 1,7, 2,0. Uit deze reeks quotienten zien we, dat met het toenemen van de uitgangshelderheid het quotient afneemt, d.w.z. dat de gevoeligheid van het gezichtsorgaan, volgens deze methode bepaald, toeneemt, om tenslotte min of meer constant te worden (het laatste quotient is iets grooter dan het voorgaande, hetgeen zou kunnen wijzen op een afname van de gevoeligheid bij de hoogste waarden van de uitgangshelderheid). Dit resultaat is dus kwalitatief eenigszins in overeenstemming met onze resultaten van

bepalingen van de gevoeligheid (o.dr.). Een quantitatieve vergelijking is niet goed mogelijk, aangezien de experimenten van Ebbinghaus niet worden uitgedrukt in een reproduceerbare helderheidseenheid. Dit geldt trouwens voor vrijwel alle hier genoemde experimenten.

De opvallend weinig geciteerde fraaie onderzoeken van Lehmann (104) en Neiglick (122), waarbij drie roteerende sectorenschijven zoo werden ingesteld, dat de helderheid van één van de beide schijven juist subjectief tusschen die van de beide andere was gelegen, leeren ons eveneens, dat de gevoeligheid bij hoogere uitgangshelderheden toeneemt. Deze schrijvers bestudeerden zeer nauwkeurig den invloed van het contrast en trachtten nu het hierboven vermelde resultaat (n.l. de stijging van de gevoeligheid bij toeneming van de uitgangshelderheid, dus de niet-geldigheid van de wet van Weber—Fechner) te verklaren door contrastinvloed. Zij trachtten nu door afzonderlijke experimenten dezen contrastinvloed te elimineeren en komen dan tot de conclusie, dat de wet van Weber (Fechner) wel zou gelden. Ons interesseeren hier echter meer de onbewerkte resultaten, waarbij het contrast zijn invloed nog doet gelden. Een groot deel van de latere onderzoeken leidt nu eerder tot verwarring, dan dat het klaarheid brengt in de problemen, die ons hier bezig houden. Zoo tracht bijv. Mintz (119) de redeneeringen van de zoog. „Gestaltpsychologie” op zijn resultaten toe te passen.

Onder voorbijgaan van alle oudere onderzoeken heeft een modern onderzoeker (Houstoun (88)) het probleem nog eens weer bestudeerd. Hij vermeldt zijn quantitatieve resultaten niet, maar deelt mee, dat deze hem leeren, dat de instelling van subjectief even groote helderheidstrappen in principe tot hetzelfde resultaat voert als bepalingen van den onderscheidingsdrempel. Tenslotte willen we nog wijzen op de experimenten van Gage (54), die ons echter geen nieuwe gezichtspunten opleveren.

Samenvattende kunnen we zeggen, dat experimenten, waarbij wordt nagegaan welke betrekkingen bestaan tusschen de objectieve helderheden van een serie elementen, die in het bewustzijn van den waarnemer schijnen te zijn gerangschikt volgens subjectief even groote helderheidstrappen op een zeer gecompliceerde wijze worden beïnvloed door simultaan (en eventueel ook door successief) contrast, maar dat zeer in het algemeen en slechts bij benadering gezegd kan worden, dat de gevoeligheid van het gezichtszintuig, volgens deze methode beoordeeld, op dezelfde wijze afhankelijk is van de uitgangshelderheid, als de ge-

voeligheid bepaald met behulp van metingen van den onderscheidingsdrempel.

Wij hebben ons nu afgevraagd, of het niet mogelijk zou zijn den contrastinvloed voor een groot deel te elimineeren, door de methode van onderzoek te wijzigen.

Hiertoe verrichtten we eenige experimenten op de volgende wijze: Met behulp van de in Hoofdstuk III beschreven proefopstelling werd het gezichtsorgaan geadapteerd aan een bepaalde uitgangshelderheid B_1 . Vervolgens werd door projectie van de lichtvlek een nieuw element (B'_1) foveaal aangeboden, dat ten opzichte van den achtergrond duidelijk zichtbaar was. Wanneer de proefpersoon zich het subjectieve helderheidsverschil goed had ingeprent, werd een nieuwe achtergrondshelderheid B_2 aangeboden en vervolgens de vlek ingesteld op een helderheid B'_2 zoodanig, dat het verschil in helderheid tusschen de subjectieve elementen (B'_2) en (B_2) even groot scheen als het vroeger waargenomen subjectieve helderheidsverschil van de elementen (B'_1) en B_1 . Op deze wijze werd de contrast-invloed aanzienlijk vereenvoudigd, omdat de condities hier in wezen met die van het „vereenvoudigde objectieve beeld” overeenkomen. Daarmede treden nu echter een groote serie nieuwe complicaties op, die ontstaan tengevolge van het feit, dat de instelling hier moet berusten op een herinnering van den waarnemer. Bovendien bleek ons nu bij een aantal voorbereidende experimenten, dat deze wijze van experimenteren tot zoo sterk varieerende resultaten voerde, dat hieruit voor ons niets is te leeren.

Hiermede hebben wij een overzicht trachten te geven van datgene, wat de literatuur en eenige eigen experimenten ons konden leeren omtrent de gevoeligheid van het gezichtszintuig bepaald volgens drie criteria en wel:

- I. onderscheidingsdrempel,
- II. gezichtsscherpte,
- III. instelling van subjectief even groote helderheidstrappen.

Deze beschouwingen leerden ons, dat, zeer in het algemeen gezegd, deze drie methoden kwalitatief tot vergelijkbare resultaten voeren, speciaal wat betreft den invloed van de uitgangshelderheid op de gevoeligheid. Een quantitative vergelijking van de resultaten der drie hier genoemde onderzoeksmethoden is echter slechts in zeer beperkte mate mogelijk. Het meeste leenen zich nog voor vergelijking de resultaten van onderscheidingsdrempel- en gezichtsscherptebepalingen. In § 4 zullen wij nu

trachten de resultaten van deze beschouwingen toe te passen op het probleem, dat we ons in hoofdstuk I § 2 stelden.

§ 4. Toepassing van het hiervoor behandelde op het door ons gestelde probleem.

In hoofdstuk I § 2 stelden wij het volgende probleem:

Welke betrekkingen bestaan tusschen de eigenschappen van het (objectieve) photographische beeld, dat ontstaat bij de homogene doorlichting van een Röntgenphotogram en de eigenschappen van het (subjectieve) visuele beeld, dat door de waarneming van dit photographisch beeld in het bewustzijn van den waarnemer ontstaat?

In het hiervoor besprokene verzamelden we het materiaal, dat we in deze paragraaf zullen gebruiken bij een poging tot oplossing van dit probleem. Bij deze doorwerking van het probleem zullen we uitgaan van het meest eenvoudige geval en wel van de constellatie van elementen, die we op blz. 19 aanduiden als „vereenvoudigd objectief beeld”, om daarna onze beschouwingen geleidelijk uit te breiden tot meer gecompliceerde constellaties der elementen.

a. Het eenvoudigste geval. De voorwaarden van het „vereenvoudigde objectieve beeld”.

Indien we ons een hypothetisch Röntgenphotogram voorstellen, dat zoo groot is, dat het geheele gezichtsveld van den waarnemer er door in beslag wordt genomen, terwijl dit photogram wordt verlicht door een even uitgebreide lichtkast met gelijkmatige helderheid en indien we verder aannemen, dat de zwarting van dit photogram overal dezelfde is, behoudens in één centraal gebied, waar de zwarting iets kleiner is en dat ten opzichte van het overige deel van de photo scherp en cirkelvormig is begrensd en door den waarnemer foveaal wordt waargenomen, dan hebben we ons voorwaarden geschapen, die geheel te vergelijken zijn met die van het „vereenvoudigde objectieve beeld”.

Op grond van hetgeen in de hiervoor gaande hoofdstukken besproken is kunnen we nu trachten vast te stellen onder welke voorwaarden de „zichtbaarheidsverhoudingen” voor dit element het gunstigst zullen zijn. Vanzelfsprekend zal dit element het gemakkelijkst zichtbaar zijn, indien de gevoeligheid (o.dr.) maximaal is. Zooals we hiervoor aantoonen is het hiervoor in de eerste plaats noodzakelijk, dat het gezichtszintuig van den waarnemer volledig aan de helderheid van den (objectieven) achtergrond is geadapteerd, terwijl het verder noodzakelijk zal zijn, dat de helderheid van den achtergrond zóó groot wordt gekozen, dat de

gevoeligheid (o.dr.) zijn maximum bereikt. In hoofdstuk III § 3 toonden we aan, dat die waarde van de achtergrondshelderheid, waarbij de gevoeligheid (o.dr.) maximaal wordt, afhankelijk is van den gezichtshoek g , waaronder het centrale element wordt waargenomen en wel in dien zin, dat deze helderheid, waarbij de maximale gevoeligheid (o.dr.) bereikt wordt grooter is, naarmate de gezichtshoek g kleiner is. Op grond van de resultaten van onze eigen experimenten (zie tabel 3 en fig. 5) kunnen we echter vaststellen, dat voor alle waarden van g tusschen $7'$ en $284'$ de gevoeligheid maximaal is voor waarden van B tusschen 1000 asb en 16000 asb (en waarschijnlijk nog hoogere waarden). Dit geldt echter niet geheel voor elementen gezien onder een gezichtshoek $g = \text{ong. } 60'$. Onder deze voorwaarde worden de zichtbaarheidsverhoudingen met het toenemen van de achtergrondshelderheid voortdurend nog iets gunstiger. Verder leeren de resultaten van onze experimenten (zie tabel 4 en fig. 6) ons, dat de zichtbaarheidsverhoudingen in het algemeen bij grooter worden van den gezichtshoek g , waaronder het element wordt beschouwd, gunstiger zullen worden. In het helderheidsgebied, dat we hierboven afbakenden, zal deze stijging van de gevoeligheid echter niet geheel continu plaats hebben. De gevoeligheid streeft namelijk naar een eerste maximum voor $g = 60'$.

Tot nu toe veronderstelden we uitsluitend het geval, dat het waargenomen element helderder is dan den achtergrond. De experimenten van Holway (84) rechtvaardigen echter de gevolgtrekking, dat het hierboven besprokene ook min of meer geldig is voor het geval, dat het waargenomen element donkerder is, dan de achtergrond.

b. Het element (B') is niet scherp begrensd ten opzichte van den achtergrond.

Indien het waargenomen element onscherp begrensd is ten opzichte van den achtergrond, hebben we, zooals we op blz. 16 reeds vermeldde, in feite te doen met een oneindig groot aantal beeldelementen. Op grond van de onderzoekingen van Middleton (118), die den invloed van onscherpte van het waargenomen element op de gevoeligheid (o.dr.) quantitatief bestudeerde, moeten we aannemen, dat door dezen factor de gevoeligheid (o.dr.) ongunstig wordt beïnvloed. Het streven van de röntgenologen, om de verschillende beeldelementen zoo scherp mogelijk af te beelden (o.a. door te trachten het focus van de Röntgenbuis zoo gering mogelijke afmetingen te geven) vindt gedeeltelijk zijn oorsprong in hetgeen hierboven is medegedeeld.

c. *Meerdere afzonderlijke juist zichtbare elementen zijn gelijktijdig aanwezig.*

Indien op den achtergrond met uniforme zwarting meerdere elementen aanwezig zijn, die zoo weinig ten opzichte van dien achtergrond contrasteeren (techn.), dat ze slechts juist zichtbaar zijn of anders gezegd, indien de „omvang” van het photographisch beeld zeer klein is, waarbij we onder omvang verstaan het zwartingsverschil tusschen het zwartste en het minst zwarte element in het photogram en wanneer deze elementen *beurtelings* foveaal worden waargenomen, dan zullen de sub a. gegeven beschouwingen bij benadering hun geldigheid behouden. Ten gevolge van het geringe contrast (techn.) zal onder deze omstandigheden de invloed van contrast (physiol.) te verwaarloozen zijn. Indien de waarnemer één van deze elementen foveaal waarneemt, dan zal de *gelijktijdige* zichtbaarheid van de andere elementen echter worden beheerscht door de mate, waarin de gevoeligheid (o.dr.) zich wijzigt, indien we deze, van centraal naar peripheer in het gezichtsveld voortschrijdende, bepalen. Aangezien echter, zooals we reeds eerder opmerkten, de röntgenoloog in het algemeen zijn blik zal richten op dat element, dat hem op dat oogenblik interesseert, zal de zichtbaarheid van periphere elementen in het gezichtsveld van weinig belang zijn, reden waarom we bij de literatuurbespreking slechts onze aandacht hebben besteed aan de *foveale* gevoeligheid (o.dr.).

d. *De achtergrond is niet uniform helder.*

d 1. *Het periphere deel van den achtergrond heeft een andere helderheid dan het centrale.*

In het algemeen zal de Röntgenlichtkast en het zich daarvoor bevindende photogram niet het geheele gezichtsveld in beslag nemen. De helderheid van de omgeving van de lichtkast wordt in dit geval bepaald door de verlichting en den aard van de wanden van het vertrek, waarin de beoordeeling plaats heeft. Aangezien dikwijls in een onverlicht vertrek wordt gewerkt, zal de omgeving van de lichtkast dikwijls minder helder zijn, dan de gemiddelde helderheid van het doorlichte photogram, maar alles wat hier besproken wordt geldt ook, indien deze omgeving een grootere helderheid heeft, dan de gemiddelde helderheid van het photogram. Onze literatuurbespreking leerde ons nu, dat de gevoeligheid (o.dr.) in het algemeen door de aanwezigheid van een dergelijk element ongunstig wordt beïnvloed. De gevoeligheid (o.dr.) zal het grootst zijn, indien de achtergrond een uniforme helderheid bezit en het geheele gezichtsveld

opvult. De ongunstige invloed van den hier genoemden factor op de gevoeligheid (o.dr.) zal zich in nog grootere mate doen gelden, indien, zooals dikwijls gebruikelijk is, met behulp van een zwart diaphragma een groot deel van de lichtkast wordt afgeschermd met het doel een klein deel van de photo afzonderlijk waar te nemen onder uitsluiting van sterk contrasteerende (techn. en physiol.) elementen. Wij komen hierop in de volgende paragraaf nog terug.

d 2. In het gezichtsveld zijn locale sterk contrasteerende (techn.) elementen aanwezig.

Tot nu toe zijn we uitgegaan van de veronderstelling, dat de *feitelijke* achtergrond van de waar te nemen elementen uniform helder is. Dit zal in een Röntgenphotogram echter nooit het geval zijn. We kunnen deze veronderstelling echter bij benadering handhaven voor die gevallen, waarin die achtergrond geen sterk contrasteerende (techn.) elementen vertoont (m.a.w. het photographisch beeld een geringe „omvang” heeft). Indien aan deze laatste voorwaarde echter niet voldaan is, moeten we die bijzondere contrasteerende (techn.) elementen, indien ze een grootere helderheid hebben, dan de algemeene achtergrond, beschouwen als „glare sources” in den zin, waarin bijv. Stiles en Crawford (zie blz. 56) deze bestudeeren.

Een nadere uitwerking van de door deze schrijvers opgestelde „aequivalent background hypothesis”, waarbij ook rekening wordt gehouden met de eventuele aanwezigheid van plaatselijke „donkere” contrasteerende (techn.) elementen in het gezichtsveld, zal eventueel in staat zijn ons een inzicht te verschaffen in de mate waarin dergelijke bijzondere contrasteerende (techn.) elementen de gevoeligheid (o.dr.) en daarmee de zichtbaarheid van de andere elementen beïnvloeden. In ieder geval kunnen we vaststellen, dat de aanwezigheid van een dergelijke „glare source” de gevoeligheid (o.dr.) ongunstig zal beïnvloeden.

e. Het te beoordeelen element is duidelijk zichtbaar ten opzichte van den achtergrond.

Tot nu toe hielden we ons uitsluitend bezig met het geval, dat het te beoordeelen element juist zichtbaar is ten opzichte van den achtergrond. In het algemeen zal aan deze voorwaarde niet worden voldaan. Zelft dat deel van het photogram, dat door den Röntgenoloog gedifferentieerd moet worden zal een min of meer groote omvang hebben. In § 3 van dit hoofdstuk stelden wij vast, dat het zeer moeilijk is, om

ons een inzicht te verschaffen in de factoren, die de gevoeligheid van het gezichtsorgaan onder deze voorwaarden bepalen.

De voornaamste complicatie, die we hierbij ontmoeten blijkt het contrast (physiol.) te zijn. Wij zullen ons hier tevreden moeten stellen met een bewering, die slechts een zeer grove benadering van de werkelijkheid is en voorloopig aannemen, dat de gevoeligheid van het gezichtszintuig, zooals we die leeren kennen voor duidelijke zichtbaarheid van het te beoordeelen element tegenover den achtergrond, met den voornaamsten factor, n.l. de uitgangshelderheid op ongeveer dezelfde wijze in betrekking staat, als de gevoeligheid (o.dr.). De argumenten, waarop deze grof benaderende bewering steunt, zijn uiteengezet in § 3 van dit hoofdstuk. Wij zijn ons er echter zeer goed van bewust, dat we hier slechts met een grove benadering te doen hebben en dat alle reden bestaat voor een uitvoerig onderzoek van dit vraagstuk met moderne hulpmiddelen.

- f. *In het photogram komen twee dicht bij elkaar gelegen elementen voor, waarvan het separate karakter moet worden beoordeeld.*

Indien we ons de vraag voorleggen onder welke voorwaarden het mogelijk zal zijn twee dicht bij elkaar gelegen elementen als afzonderlijke (subjectieve) elementen te onderscheiden, dan zal het duidelijk zijn, dat hiervoor datgene geldt, wat we in § 2 van dit hoofdstuk onder het hoofd „gezichtsscherpte” hebben beschreven. De voornaamste factoren, waardoor de gezichtsscherpte wordt beheerscht bleken te zijn de helderheid van den achtergrond en het contrast (techn.). Verder kwamen we tot de conclusie, dat de relatie tusschen foveale gezichtsscherpte en achtergrondshelderheid ongeveer dezelfde is als tusschen uitgangshelderheid en gevoeligheid (o.dr.) voor kleinen hoek g .

- g. *De achtergrond is niet uniform en tegenover de verschillende deelen van den achtergrond moeten elementen worden beoordeeld.*

Tot nu toe hebben we steeds verondersteld, dat de te beoordeelen elementen allen aanwezig zijn op een deel van den achtergrond, dat een uniforme helderheid heeft. Indien echter ook deze „feitelijke” achtergrond nog weer gedifferentieerd is, waardoor de verschillende te beoordeelen elementen op verschillende achtergrondshelderheden moeten worden waargenomen, zal de (locale) adaptatie een rol gaan spelen. Onze beschouwingen leerden ons, dat de gunstigste voorwaarden voor de waarneming zich voordoen indien het gezichtsorgaan, tenminste lokaal,

volledig aan de uitgangshelderheid is geadapteerd. In hoeverre aan dezen eisch steeds zal worden voldaan, zullen we in de volgende paragraaf onderzoeken.

h. Het werkelijke Röntgenphotogram.

De tot nu toe besproken gevallen zijn slechts simplificaties. Veel ingewikkelder wordt de situatie, indien we ons gaan bezig houden met een dergelijk Röntgenphotogram. Indien we nu als voorbeeld ons een oogenblik bezig houden met een Röntgenphoto van de menschelijke thorax (waarmee we geenszins het eenvoudigste geval kiezen, aangezien de thoraxfoto in het algemeen een grooten photoomvang heeft) en ons afvragen, hoe de constellatie der beeldelementen is, die zich voordoet indien we deze foto voor de lichtkast beoordeelen, dan zal het duidelijk zijn, dat het objectieve beeld bestaat uit een oneindig groot aantal elementen. Om nu eenige orde te scheppen in de zeer gecompliceerde structuur, waarmee we hier te maken hebben, zullen we trachten deze verschillende objectieve elementen eenigszins te groepeeren.

In de eerste plaats kunnen we onderscheid maken tusschen het doorlichte photogram zelf en de omgeving. Zooals we reeds eerder vermeldde moet men aannemen, dat die omgeving meestal minder helder is, dan het doorlichte photogram (aangezien onder Röntgenologen een opvallende neiging bestaat het vertrek, waarin de photogrammen worden beoordeeld, te verduisteren). Hoewel deze omgeving meestal nog weer uit meerdere elementen zal bestaan kunnen we deze practisch als één element beschouwen, tenzij daarin zeer sterk contrasteerende (techn.) elementen aanwezig zijn. Veel gecompliceerder is de constellatie van de elementen in het photogram. Bij een eerste grove groepeerings moeten we hier onderscheiden de donkere longvelden, de zeer heldere hartschaduw en de zeer heldere schaduwen van de deelen van het skelet (claviculae; costae ¹⁾). Deze drie groepen vormen echter geen echte elementen. Zij zijn ieder opgebouwd uit een oneindig aantal elementen en elementjes, waarvoor ieder van deze deelen als geheel den achtergrond vormt. De situatie is dus uitermate gecompliceerd. Indien men zich bijv. een klein elementje in de photo voorstelt, dan wordt de zichtbaarheid daarvan in de eerste plaats beheerscht door den feitelijken achtergrond van dat

¹⁾ Bij deze opsomming begaan wij eigenlijk een onnauwkeurigheid, door de beeldelementen te vereenzelvigen met de daarmee corresponderende objectelementen. Het feit, dat we dit vrijwel ongemerkt doen bewijst nog eens hoezeer we in het dagelijksch levend gewend zijn „kortsluitingen” te maken tusschen het visuele beeld en de eigenschappen van het daarmee overeenkomende anatomisch object.

elementje, maar verder ook weer door den achtergrond waarop die achtergrond wordt gezien enz. Al deze achtergronden oefenen op het elementje zelf en op de andere achtergronden contrastinvloed (physiol.) uit. Verder is de zichtbaarheid van het element nog afhankelijk van de vraag of het gezichtsorgaan, tenminste lokaal, volledig is geadapteerd aan den feitelijken achtergrond van het element. Zooals we reeds eerder aanduiden wordt de situatie nu iets vereenvoudigd door het feit, dat wij onze aandacht niet tegelijkertijd aan het geheele photogram besteden, maar deze richten op het „aandachtveld”, waarop telkens onzen blik blijft rusten.

Aan dit begrip „aandachtveld”, dat we tot nu toe nog niet hebben ingevoerd moeten we hier eenige aandacht besteden. Uitgaande van het visueele beeld zou ik als „aandachtveld” willen beschouwen dat deel van het visueele beeld, dat gelijktijdig onze aandacht heeft. Zulk een aandachtveld zal dus meestal bestaan uit een groep van subjectieve elementen. Onze psyche heeft nu de eigenschap binnen dit aandachtveld een object-achtergrondifferentiatie te construeeren, waaromheen dan het overige gezichtsveld een eenigszins indifferenter achtergrond vormt, waarvan de constellatie echter van invloed is op de zichtbaarheid van de elementen binnen het veld.

Onze literatuurbespreking en onze eigen experimenten behandelen nu hoofdzakelijk de zichtbaarheid van elementen. Voor het verkrijgen van een volledig inzicht in de eigenschappen van het visueele beeld, dat ontstaat bij de gelijkmatige doorlichting van een Röntgenphotogram, zooals we ons dat in de probleemstelling ten doel stelden zal het dus noodzakelijk zijn experimenteele condities te scheppen, die met de aanwezigheid van dergelijke meer gecompliceerde aandachtsvelden rekening houden. Wij zijn ons dan ook zeer goed bewust, dat de tot nu toe gegeven beschouwingen een min of meer inleidend karakter hebben. Toch willen we in de volgende paragraaf ons afvragen, of uit deze inleidende beschouwingen practische gevolgtrekkingen zijn te maken, die ons kunnen leeren welke in het algemeen de gunstigste omstandigheden zullen zijn voor de beoordeeling van een Röntgenphotogram.

§ 5. *Practische consequenties van het hiervoor behandelde.*

Alvorens ons nu af te vragen, of het mogelijk is uit het hiervoor behandelde practische gevolgtrekkingen te maken zullen wij eenige quantitatieve gegevens moeten verschaffen omtrent de eigenschappen van de meest gebruikelijke photogrammen en lichtkasten, en tevens

moeten vaststellen onder welke waarnemingscondities deze meestal worden beoordeeld.

Het Röntgenphotogram.

Evenals in § 4 zullen we ons een bepaald photogram als voorbeeld kiezen en wel het Röntgenphotogram van de menschelijke thorax.

Röntgenphotogrammen van de menschelijke thorax worden tegenwoordig meestal gemaakt op Röntgenfilms met een afmeting van 30 bij 40 cm.

Wat de zwartingsverhoudingen van deze photogrammen betreft het volgende:

Indien we de zwartingscurve van fig. 2a nog eens bezien, dan zal het duidelijk zijn, dat vanuit een zuiver Röntgenphotographisch standpunt de *maximale* omvang van het photogram bepaald wordt door het gebied van de curve, dat wordt weergegeven door het steile middenstuk, dat gelegen is tusschen $S = 0,5$ en $S = 2,5$. De *maximale* omvang van het photogram bedraagt dus ong. 2,0.

De Röntgenoloog, die de photo maakt zal echter een bepaald doel voor oogen hebben. Indien het hem bijv. erom te doen is den toestand van de longen te beoordeelen, zal hij zorgen, dat de gemiddelde zwarting van de longvelden overeenkomt met het allersteilste gedeelte van de zwartingscurve, d.w.z. met ong. $S = 1,0$. Indien nu de maximale omvang gebruikt wordt, dan leert de dagelijksche ervaring van den Röntgenoloog, dat de contrastinvloed (physiol.) zoo nadeelig wordt, dat de zichtbaarheid der elementen hier sterk onder lijdt.

De Röntgenoloog stelt zich dus voor het te differentieeren gebied met een kleineren omvang, de zoog. bruikbare omvang, tevreden. De ervaring leert nu, dat deze *bruikbare omvang* voor het te differentieeren deel van het photogram ong. 1,0 bedraagt. Indien we aannemen, dat het gevoeligste zwartingsgebied is gelegen bij $S = 1,0$, dan ligt deze bruikbare omvang voor het te differentieeren deel tusschen $S = 0,5$ en $S = 1,5$.

De lichtkast.

De gebruikelijke lichtkasten bestaan uit een glasplaat van een sterk diffundeerende glassoort (bijv. opaalglas), die met behulp van één of meer electriche lichtbronnen zoo gelijkmatig mogelijk wordt verlicht en die een afmeting heeft, die groot genoeg is om de grootste gebruikelijke photogrammen ermee te doorlichten. Verder is meestal een inrichting aangebracht, waardoor met behulp van een diaphragma een deel van het verlichte veld kan worden afgeschermd. De kleur van het

licht benadert meestal die van „wit" licht, ofschoon ook experimenten zijn verricht met anders gekleurde lichtkasten.

Wat de helderheid van deze lichtkasten betreft vinden we zeer verschillende waarden. In het Nederlandsch Gasthuis voor Ooglijders bevindt zich een lichtkast, waarvan de helderheid ong. 3000 asb bedraagt. In het Sanatorium „Berg en Bosch" te Bilthoven zijn echter, blijkens een mondelinge mededeeling van Dr. Bronkhorst lichtkasten aanwezig, waarvan de helderheid kan worden opgevoerd tot 4000 asb. Verder bestaan er lichtkasten, waaraan een inrichting is aangebracht, die het mogelijk maakt plaatselijk de helderheid van de lichtkast zeer sterk op te voeren.

In hoeverre het algemeen of plaatselijk opvoeren van de helderheid voordeelen met zich brengt is een vraag, die ons in het verdere verloop van deze paragraaf nog bezig zal houden. Aangezien namelijk de zwartingseigenschappen van het photogram min of meer gebonden zijn aan de eigenschappen van het anatomisch object, de zwartingseigenschappen van de emulsie en de hardheid van de Röntgenstralen, is de helderheid van de lichtkast één van de weinige factoren, die we voorloopig nog geheel willekeurig kunnen variëren.

De waarnemingscondities.

De Röntgenoloog, die zijn photo's beoordeelt bevindt zich met zijn oogen op een zekeren afstand van de lichtkast. Deze afstand is onderhevig aan individueele verschillen en bovendien voor één bepaald individu wisselend. We moeten hier dus betrekkelijk willekeurig een gemiddelde aannemen en zullen dit stellen op 40 cm. Indien we de op blz. 110 vermelde afmetingen van het gebruikelijke thoraxphotogram als uitgangspunt kiezen, dan bedraagt de gezichtshoek, waaronder we dit photogram zien (over de diagonaal gemeten) ong. 64° . De omgeving van de lichtkast wordt in het algemeen gevormd door de wanden van het vertrek, waarin de beoordeeling plaats heeft. Zooals reeds eerder is opgemerkt zijn in de practijk deze wanden meestal minder helder, dan de gemiddelde helderheid van het doorlichte photogram.

De adaptatietoestand van den waarnemer is afhankelijk van zijn directe voorgeschiedenis en kan dus niet zonder meer worden vastgesteld.

De gunstigste waarnemingscondities.

In het verloop van dit proefschrift hebben we aangetoond, dat de gunstigste voorwaarden voor de zichtbaarheid van een element geboden zijn, indien dit wordt gezien tegen een uniform helderen achtergrond bij volledige adaptatie aan de helderheid van dien achtergrond. Het zal

duidelijk zijn, dat deze gunstige omstandigheden bij de beoordeeling van een Röntgenphotogram nooit aanwezig zijn. Wel kunnen we trachten de overige condities zoo gunstig mogelijk te maken.

De omgeving van de lichtkast.

De contrastinvloed (physiol.) van de omgeving kan in principe voor een groot deel worden opgeheven door het aanbrengen van een variabele verlichting, met behulp waarvan het mogelijk is de omgeving van de lichtkast een helderheid te doen aannemen, die gelijk is aan de gemiddelde helderheid van het doorlichte photogram. Hierbij dreigt echter het gevaar, dat door deze wandverlichting het oppervlak van de Röntgenfilm „valsch licht” zal gaan reflecteeren, waardoor de contrasten (techn.) in het photogram op nadeelige wijze zullen verminderen. Het zal dan ook o.i. aanbeveling verdienen bij de opstelling van Röntgenlichtkasten met dit alles rekening te houden.

De helderheid van de lichtkast.

In hoofdstuk III en IV werd vastgesteld, dat de optimale waarde van de gevoeligheid (o.dr.) voor kleinen gezichtshoek g en van de gezichtsscherpte optreedt in een gebied, waarvan de onderste grens bij benadering aangegeven kan worden met $\log B = 3,0$ (asb), dus $B = 1000$ asb.

Indien we nu aannemen, dat het photogram den „maximalen omvang” heeft en dat dus de grootste in het photogram voorkomende zwarting $S = 2,5$ bedraagt, dan zou de lichtkast, opdat alle elementen ten opzichte van dezen achtergrond nog onder gunstige zichtbaarheidverhoudingen kunnen worden gezien een helderheid moeten hebben: $\log B = 3 + 2,5 = 5,5$ (asb), d.w.z. $B = 316900$ asb. Dit is een buitengewoon hoge helderheid en we moeten dan ook ernstig met de mogelijkheid rekening houden, dat onder deze condities de gebieden in de photo waar de zwarting kleiner is een helderheid zullen aannemen, die zoo groot is, dat de gevoeligheid (o.dr.) en eventueel de gezichtsscherpte weer gaan dalen. Experimenteel hebben we vastgesteld, dat een dergelijke daling nog niet optreedt voor $\log B = 4,3$ ($B = 19990$).

Indien we echter rekening houden met het feit, dat de „bruikbare photo-omvang” binnen het gebied, dat we willen differentieeren in verband met den nadeeligen invloed van contrast (physiol.) door den ervaren Röntgenoloog veel kleiner wordt gekozen, dan de maximale en ligt tusschen $S = 0,5$ en $S = 1,5$ en dat die elementen in de photo, die ons het meest interesseeren bij voorkeur moeten worden weergegeven

in een zwarting 1,0 en indien we ons er slechts toe bepalen dit zwartingsgebied zoo sterk te verlichten, dat de ondergrens van de optimale zichtbaarheid juist wordt bereikt, dan moeten we de lichtkast toch nog een zeer hooge helderheid geven en wel: $\log B = 3 + 1,5 = 4,5$ (asb), dus $B = 31690$ asb. Dit is dus toch nog een grootere helderheid, dan die van de meeste lichtkasten, die in gebruik zijn. Indien we de lichtkast deze helderheid geven behoeven we niet ernstig bevreesd te zijn, dat de lichtere partijen in de photo een helderheid zullen hebben, die zoo groot is, dat de zichtbaarheid van de elementen eronder zal gaan lijden. Wel moeten we er echter op bedacht zijn, dat bij deze lichtkasthelderheid de sterkst gezwarte partijen in de photo onder reeds een weinig ongunstige omstandigheden worden beoordeeld en wel in het helderheidsgebied, waar gevoeligheid (o.dr.) voor kleinen hoek g en de gezichtsscherpte reeds gaan dalen. De hierboven besproken inrichting, die aan sommige lichtkasten is aangebracht, waardoor de helderheid plaatselijk kan worden opgevoerd lijkt dan ook inderdaad zinrijk. Bovendien biedt deze inrichting het voordeel, dat door het plaatselijk opvoeren van de helderheid de nadeelige invloed door contrast (physiol.) van de lichtere partijen eenigszins wordt opgeheven.

Het elimineeren van nadeeligen contrastinvloed (physiol.).

Wij vestigden er hierboven de aandacht op, dat het, alleen rekening houdende met de gevoeligheid van de photographische emulsie, van belang is de photoomvang zoo groot mogelijk te kiezen. Deze eisch is nu niet goed vereenigbaar met de eischen, die we moeten stellen voor de gunstigste zichtbaarheidsverhoudingen bij de visueele beoordeeling van het beeld. De groote photoomvang zal namelijk leiden tot sterke contrasten (techn. en physiol.), die de gevoeligheid (o.dr.), de gezichtsscherpte en de zichtbaarheid van duidelijk zichtbare subjectieve helderheidsverschillen ongunstig zullen beïnvloeden. Men tracht nu dikwijls de sterkste contrasten te elimineeren, dus de photoomvang te beperken, met behulp van de hiervoor reeds beschreven inrichting, waardoor met behulp van een diaphragma de sterkst contrasteerende partijen kunnen worden afgeschermd. Hierdoor treedt echter weer een nieuwe nadeelige contrastinvloed op, aangezien n.l. deze diaphragma's aanleiding geven tot het optreden van een zeer donker element in het gezichtsveld. Het zou o.i. aanbeveling verdienen dergelijke diaphragma's zoo te construeeren, dat de helderheid hiervan ongeveer gelijk gemaakt kan worden aan de gemiddelde helderheid van het niet afgeschermd deel van de photo.

Dit is technisch te verwezenlijken met behulp van schermen, die vervaardigd zijn uit een sterk licht-diffundeerend materiaal.

Indien men nu beschikt over een aantal van dergelijke schermen met verschillend sterke absorbeerende werking, kan men steeds een scherm kiezen, waarvan de absorptie zoo groot is, dat de helderheid van het scherm ongeveer even groot is als die van het niet afgeschermd deel van het photogram.

Dergelijke schermen zou men eenvoudig kunnen vervaardigen uit papier, waarbij dan de verschillende graden van absorptie worden bereikt door meerdere lagen van papier op elkaar te leggen.

Wij zijn thans bezig met het zoeken van papiersoorten, die voor dit doel geschikt zijn. Helaas maakt tijdgebrek het ons onmogelijk de resultaten van deze experimenten nog in dit proefschrift af te drukken.

Over de wijze waarop eventueel het contrast tengevolge van de helderheid van de omgeving van de lichtkast kan worden geëlimineerd hebben we reeds gesproken.

De adaptatietoestand van het gezichtsorgaan van den waarnemer.

Zeer in het algemeen zullen we voor de beoordeeling van het photogram als eisch moeten stellen, dat de waarnemer volledig is geadapteerd aan de gemiddelde helderheid van het doorlichte photogram. Theoretisch zal dit sneller geschieden, indien de waarnemer van te voren was geadapteerd aan een lagere helderheid, dan wanneer hij van te voren was geadapteerd aan een hogere helderheid, dan die van het doorlichte photogram. Practisch zal echter deze factor een zeer geringe rol spelen, aangezien we hebben aangetoond, dat binnen het gebied van het photoptisch zien, waarmee we hier te maken hebben zelfs het langzaamste proces, n.l. de donkeradaptatie, nog zeer snel verloopt. Het is dan ook het voor ons probleem betreffende ondergeschikte belang van de adaptatie, dat ons er toe heeft gebracht in hoofdstuk III onze experimenten betreffende dezen factor in zeer beknopte vorm weer te geven. Elders (Najaarsvergadering Ned. Oogheelk. Gezelschap 1941) hebben we deze experimenten meer uitvoerig besproken. Meer aandacht zullen we moeten besteden aan den lokalen adaptatietoestand, die zijn invloed zal doen gelden, indien de waarnemer beurtelings zijn blik richt op partijen van de photo met sterk verschillende zwarting. Het is zeer moeilijk, zoo niet onmogelijk, de verschijnselen, die zich hierbij voordoen te onderscheiden van die, die beschreven worden als successief contrast. Indien we echter dit vraagstuk van de zijde van de adaptatie trachten te benaderen, dan zullen we moeten vaststellen, dat bij het verplaatsen van

de blikrichting van een gebied met geringere zwarting naar een gebied met sterkere zwarting, de nadeelige invloed ten gevolge van het tijdelijk niet lokaal geadapteerd zijn zich langer zal doen gelden, dan in het omgekeerde geval.

De energieverdeeling over het spectrum van het licht van de lichtkast.

Datgene wat in hoofdstuk II is besproken omtrent den invloed van de golflengte van het licht op de gevoeligheid (o.dr.) en in hoofdstuk IV omtrent den invloed van dezen factor op de gezichtscherpte geeft ons geen reden aan te nemen, dat er een bepaalde kleur licht is, die boven wit licht de voorkeur verdient, tenminste onder de condities van het photoptisch zien, waarmee we hier te maken hebben. De vraag blijft echter open, of het kiezen van een bijzondere lichtsoort den contrastinvloed in een gunstigen zin zou kunnen beïnvloeden. Dit is een zeer gecompliceerd vraagstuk, aangezien we daarbij behalve met het helderheidscontrast (physiol.) nog te maken krijgen met het kleurcontrast (physiol.).

Er zijn ons geen experimenten bekend, die zoo systematisch dit probleem behandelen, dat de resultaten voor het door ons gestelde doel bruikbaar zijn.

Indien we nu samenvatten welke practische consequenties we uit het in dit proefschrift behandelde mogen trekken, wat betreft de gunstigste condities waaronder het Röntgenphotogram moet worden beoordeeld, dan kunnen we deze conclusie weergeven in de volgende punten:

1. *De helderheid van de lichtkast moet groot zijn en wel een waarde hebben gelegen tusschen 10000 en 100000 asb.*
2. *Het gebruik van een lichtsoort van bijzondere kleur geeft waarschijnlijk geen voordeelen boven het gebruik van zoog. wit licht.*
3. *Er moet zorg voor worden gedragen, dat de omgeving van de lichtkast een helderheid heeft, die nagenoeg gelijk is an de gemiddelde helderheid van het te beoordeelen doorlichte photogram.*
4. *Het aanbrengen van een inrichting, waardoor plaatselijk de helderheid van de lichtkast sterk kan worden opgevoerd verdient aanbeveling.*
5. *Het verdient aanbeveling de afschermdiaphragma's van de lichtkast zoo in te richten, dat deze een helderheid hebben, die ongeveer gelijk is aan de gemiddelde helderheid van het niet afgeschermd deel van het photogram.*

6. *Het is niet uitgesloten, dat, indien aan de sub 1—5 genoemde eischen is voldaan, zal blijken, dat de bruikbare photoomvang grooter zal blijken te zijn, dan tot nu toe werd aangenomen.*

§ 6. *De Röntgendoorlichting.*

Een oogenblik willen we nog onze aandacht wijden aan een andere wijze, om het photographisch beeld zichtbaar te maken en wel door dit op te vangen op een fluoresceerend scherm, waardoor de Röntgenstralen direct in lichtstralen worden omgezet.

Bij deze zoog. Röntgendoorlichting zijn de condities geheel andere dan bij de beoordeeling van het photogram voor de lichtkast. Een uitvoerige bestudeering van deze omstandigheden zou minstens een hoofdstuk eischen, waardoor dit proefschrift een omvang zou krijgen, die niet met de tijdsomstandigheden in overeenstemming is. Wij zullen dus slechts de allervoornaamste verschilpunten aanstippen, voor zoover ze in het kader van het hiervoor besprokene interessant zijn.

Het belangrijkste verschil tusschen het photographisch beeld voor de lichtkast en het beeld op het fluorescentiescherm is gelegen in de waarde van de objectieve helderheid. De helderheid van het beeld op het fluorescentiescherm is n.l., zelfs onder optimale condities, zeer klein. Helaas ontbreken mij hierover quantitative gegevens. In ieder geval kunnen we aannemen, dat de helderheid van het oplichtende fluorescentiescherm van een orde is, waarbij het scotoptische mechanisme het zien beheerscht. Het zal nu duidelijk zijn, dat onder deze condities adaptatieve factoren een veel grooteren rol spelen, dan bij de beoordeeling van photogrammen voor de lichtkast. Dit feit is dan ook aan alle Röntgenologen bekend, zoodat een ieder, die zich bezig houdt met Röntgendoorlichting, steeds zal zorgen een toestand van voldoende donkeradaptatie bereikt te hebben.

Een vraag, die verder van groot belang is is de volgende: Zijn de helderheden, waarmede we bij de doorlichting te maken hebben van een orde, waarbij de curve van gevoeligheid (o.dr.) en gezichtsscherpte tegenover de helderheid (of beter tegenover $\log B$) nog vlak verloopt (zie fig. 5 en 11) of gaat het hier om het helderheidsgebied, waarin deze curve zeer steil verloopt? In het eerste geval heeft het opvoeren van de helderheid weinig verbetering van de zichtbaarheid der elementen ten gevolge. In het tweede geval zal echter ieder opvoeren van de helderheid van het doorlichtingsbeeld een aanzienlijke verbetering van de zichtbaarheid veroorzaken. Voor zoover onze ervaring gaat heeft opvoeren van de helderheid van het doorlichtingsbeeld geen belangrijke

verbetering van de zichtbaarheid ten gevolge. Dit zou ervoor pleiten, dat de eerste mogelijkheid het meest met de werkelijkheid in overeenstemming is.

Tenslotte nog iets over de kleur van het fluorescentielicht. Bij de gebruikelijke schermen heeft dit licht een blauwgroene kleur. Aangezien nu, zooals we hiervoor besproken hebben, de gevoeligheid van het gezichtsorgaan onder scotoptische condities grooter is voor licht met korte golflengte, dan voor licht met lange golflengte (phenomeen van Purkinje) moet men o.i. in deze kleur van het fluorescentielicht een voordeel zien.

Verder worden de zichtbaarheidsverhoudingen in het doorlichtingsbeeld zeer begunstigd door het feit, dat de elementen van dit beeld beweeglijk gemaakt kunnen worden, een factor, waardoor de gevoeligheid (o.dr.) juist voor het paracentrale zien, waarmee we hier te maken hebben, aanzienlijk toeneemt.

§ 7. Slotbeschouwing.

Wij zijn er ons zeer goed van bewust, dat de in dit proefschrift neergelegde beschouwingen aangaande het probleem, dat we ons in hoofdstuk I hebben gesteld geen volledige oplossing hebben kunnen brengen. Wij zijn n.l. in deze beschouwingen hoofdzakelijk uitgegaan van de gedachte, dat het photogram niets anders is, dan een — zij het ook zeer gecompliceerde — verzameling van helderheidselementen, die in het bewustzijn van den waarnemer aanleiding geven tot een nog gecompliceerder geheel van subjectieve beeldelementen. In werkelijkheid zijn deze subjectieve beeldelementen echter de meest elementaire (sit venia verbo) bouwstenen van het visuele beeld. Het karakter van het visuele beeld is oneindig meer gecompliceerd. Hoewel we ons dan ook bewust zijn dat het geheele ondoorgrondelijke complex, dat we psyche noemen, de eigenschappen van dit visuele beeld beheerscht, zoodat de beperking, die we ons in den aanvang van dit proefschrift hebben moeten opleggen — n.l. het zooveel mogelijk elimineeren van zoog. psychologische factoren — in wezen een onmogelijkheid is, zijn wij toch van meening, dat de in dit proefschrift gegeven beschouwingen den grondslag vormen, waarop verdere beschouwingen aangaande dit probleem moeten worden gebaseerd.

SAMENVATTING.

In hoofdstuk I van dit proefschrift wordt uiteengezet, dat de taak, waarvoor de Röntgenoloog zich gesteld ziet, n.l. de herleiding van het visuele beeld, dat in zijn bewustzijn ontstaat bij de waarneming van een homogeen doorlicht Röntgenphotogram tot de anatomische eigenschappen van het te onderzoeken anatomisch object in een aantal fasen uiteenvalt, die ieder de kennis van een relatie vereischen en die onderscheiden kunnen worden in de relaties van:

1. *Visueel beeld tot photographisch beeld*
2. *Photographisch beeld tot Röntgenschaduwbeeld*
3. *Röntgenschaduwbeeld tot Röntgenologisch gedefinieerde samenstelling van het object*
4. *Röntgenologisch gedefinieerd object tot anatomisch gedefinieerd object.*

Het blijkt nu, dat relatie 1. nooit systematisch is onderzocht.

Het probleem, dat in dit proefschrift wordt gesteld luidt nu als volgt:

Welke betrekkingen bestaan tusschen de eigenschappen van het (objectieve) photographische beeld, dat ontstaat door de homogene doorlichting van een Röntgenphotogram en de eigenschappen van het (subjectieve) visuele beeld, dat door de waarneming van dit photogram in het bewustzijn van den waarnemer ontstaat.

Een voorloopige analyse brengt ons er toe een begrip in te voeren, dat in de Röntgenologische (en photographische) literatuur in gebruik is en wel het begrip photographisch beeldelement. Onder photographisch beeldelement verstaan we een in zichzelf besloten, scherp ten opzichte van de omgeving begrensd uniform helder deel van het photographisch beeld. Uitgaande van denzelfden gedachtengang wordt voor het visuele beeld het begrip visueel beeldelement ingevoerd.

Verder zien we ons genoodzaakt het probleem voorloopig te beperken door zooveel mogelijk uit te gaan van condities, die we aanduiden als „vereenvoudigd objectief beeld”, d.w.z. een objectief beeld, dat slechts bestaat uit een achtergrond, die het geheele gezichtsveld van den waarnemer opvult en één element, dat ten opzichte hiervan *foveaal* wordt waargenomen.

Voor de analyse van ons probleem blijkt het noodzakelijk te zijn ons een inzicht te verschaffen in de mate, waarin verschillende factoren de *gevoeligheid* van het gezichts-zintuig beïnvloeden.

Van de methoden ter bepaling van de gevoeligheid van het gezichts-zintuig blijken er drie voor de bestudeering van ons probleem van veel belang te zijn en wel de bepaling van

- I. *den onderscheidingsdrempel onder verschillende condities*
- II. *de gezichtsscherpte onder verschillende condities*
- III. *de objectieve helderheidstrappen, die met subjectief even groote helderheidstrappen overeen komen.*

Vervolgens wordt een overzicht gegeven van de in gebruik zijnde éénheden van objectieve helderheid, en wordt vastgesteld dat om verschillende redenen de *apostilb* (asb) voor ons doel de meest bruikbare éénheid is, waarna wordt bepaald, dat deze éénheid in dit proefschrift bedoeld is, wanneer niet uitdrukkelijk anders wordt vermeld.

In hoofdstuk II wordt het begrip onderscheidingsdrempel nader uitgewerkt en het begrip *gevoeligheid* (o. dr.) ingevoerd.

Gevoeligheid (o. dr.) = gevoeligheid van het gezichtszintuig, bepaald door meting van den onderscheidingsdrempel $= B/\Delta B$; ($\Delta B = B' - B$)

waarin B = uitgangshelderheid

B' = helderheid van het element, dat ten opzichte van B juist kan worden onderscheiden.

Een overzicht wordt gegeven van de factoren, die de gevoeligheid (o. dr.) beïnvloeden. Voor de bestudeering van ons probleem blijken de belangrijkste factoren te zijn:

Ih de uitgangshelderheid B

Ifb de gezichthoek g , waaronder het element (B') wordt waargenomen

Ia de adaptatietoestand van het gezichtszintuig.

Een overzicht wordt gegeven over de literatuur, die den invloed van deze en andere factoren op de gevoeligheid (o. dr.) behandelt.

Het blijkt daarbij, dat slechts bij één onderzoek en wel dat van Hertel (78) de condities van het „vereenvoudigde objectieve beeld” worden nagestreefd.

Tenslotte wordt een overzicht gegeven over de in de literatuur vermelde pogingen, om den invloed van verschillende factoren op de gevoeligheid (o. dr.) mathematisch te interpreteren, waarbij o.a. de aandacht wordt gevestigd op de voor de toekomst waarschijnlijk zeer belangrijke „aequivalent background hypothesis”.

In hoofdstuk III wordt een proefopstelling beschreven, waarvan het principe is ontleend aan den „Kugeladaptometer” van Hertel en waarmede door ons een aantal experimenten werden verricht, die ten doel hadden onder condities, die zoo goed mogelijk, die van het „vereenvoudigde objectieve beeld” benaderen, den invloed van de in hoofdstuk II sub Ih, Ifb en Ia beschreven factoren op de gevoeligheid (o.dr.) na te gaan.

Deze experimenten leidden ons tot de volgende conclusies:

Ih. Bij het toenemen van de uitgangshelderheid B neemt de gevoeligheid (o.dr.) $B/\Delta B$ aanvankelijk toe, om tenslotte constant te worden en constant te blijven tot bij zeer hoge waarden van B ($\log B = 4,2$ en waarschijnlijk nog hoger). Het verloop van de kromme, die de genoemde betrekking weergeeft wordt in belangrijke mate bepaald door de grootte van den gezichthoek g , waaronder het element (B') wordt waargenomen. Voor een waarde van $g = 60'$ neemt de kromme een eigenaardigen vorm aan.

Ifb. Bij toename van g neemt de gevoeligheid (o. dr.) toe. Bij lage waarden van B geschiedt dit toenemen continu, terwijl bij hoge waarden van B de kromme, die de betrekking tusschen g en $\log B$ aangeeft een tweeledig karakter aanneemt met een eerste maximum bij $g = 60'$

Ia. De adaptatietoestand van het gezichtsorgaan heeft een aanzienlijken invloed op de gevoeligheid (o. dr.) in dien zin, dat de gevoeligheid onder alle omstandigheden het grootst is, indien het gezichtsorgaan volledig is geadapteerd aan de

uitgangshelderheid B. De invloed van dezen factor doet zich bij donkeradaptatie veel langer gelden dan bij lichtadaptatie.

In hoofdstuk IV wordt een overzicht gegeven van hetgeen de literatuur ons leert omtrent den invloed van een aantal factoren op:

II. de gezichtsscherpte

III. de wijze waarop een aantal objectieve helderheidselementen moeten worden gerangschikt, om in het bewustzijn van den waarnemer aanleiding te geven tot subjectief even groote helderheidstrappen.

Dit overzicht leert ons na vergelijking met onze eigen experimenteele resultaten betreffende den onderscheidingsdrempel het volgende:

II. *De functie die de betrekking tusschen de (foveale) gezichtsscherpte en de uitgangshelderheid weergeeft komt waarschijnlijk min of meer overeen met de functie, die het verband tusschen gevoeligheid (o.dr.) voor kleinen hoek g en de uitgangshelderheid weefgeeft.*

III. *Het is ten gevolge van een groot aantal compliceerende factoren zeer moeilijk uit de resultaten van experimenten, waarbij getracht wordt objectieve elementen te rangschikken volgens subjectief even groote helderheidstrappen, conclusies te trekken betreffende het verband tusschen de uitgangshelderheid en de gevoeligheid van het gezichtszintuig. Toch hebben wij den indruk, dat de gevoeligheid, volgens deze methode bepaald, zich bij benadering op dezelfde wijze verhoudt ten opzichte van de uitgangshelderheid, als de gevoeligheid (o. dr.).*

Vervolgens wordt aan de hand van het nu verzamelde feitenmateriaal het in Hoofdstuk I gestelde probleem nader bestudeerd. Deze studie leidt tot een aantal praktische consequenties betreffende de gunstigste waarnemingscondities bij de beoordeeling van Röntgenphotogrammen. Deze consequenties worden samengevat in de volgende punten:

- 1) *De helderheid van de lichtkast moet groot zijn en wel een waarde hebben gelegen tusschen 10000 en 100000 asb*
- 2) *Het gebruik van een lichtkast van bijzondere kleur biedt waarschijnlijk geen voordeelen boven het gebruik van één met zoog. wit licht.*
- 3) *Er moet zorg voor worden gedragen, dat de omgeving van de lichtkast een helderheid heeft, die nagenoeg gelijk is aan de gemiddelde helderheid van het te beoordeelen doorlichte photogram*
- 4) *Het aanbrengen van een inrichting, waardoor plaatselijk de helderheid sterk kan worden opgevoerd verdient aanbeveling*
- 5) *Het verdient aanbeveling de afschermdiaphragmas van de lichtkast zoo in te richten, dat deze een helderheid hebben, die ongeveer gelijk is aan de gemiddelde helderheid van het niet afgeschermd deel van het photogram*
- 6) *Indien aan de hiervoor genoemde voorwaarden is voldaan, zal vermoedelijk blijken, dat de omvang van het photogram (d.w.z. het grootste in het te differentieeren gebied van de photo voorkomende zwartingsverschil) grooter kan worden gekozen, dan tot nu toe bij Röntgenologisch onderzoek gebruikelijk is.*

Tenslotte wordt eenige aandacht geschonken aan de waarnemingscondities, die zich voordoen bij de waarneming van het Röntgendoorlichtingsbeeld op het fluorescentiescherm.

ZUSAMMENFASSUNG.

Im I. Kapitel wird dargelegt, dass die Tätigkeit des Röntgenologen, nämlich die in seinem Bewusstsein entstehende Wahrnehmung eines homogen beleuchteten Röntgenphotograms mit den anatomischen Eigenschaften des untersuchten anatomischen Objektes in Übereinstimmung zu bringen und die Wahrnehmung auf das Objekt zurückzuführen, stufenweise aufgebaut erscheint und Einzelphasen erkennen lässt, deren Analyse die Kenntnis folgender Beziehungen erheischt:

1. die Beziehung zwischen dem visuellen Bild und dem photographischen Bild,
2. die Beziehung zwischen dem photographischen Bild und dem Röntgenschattebild,
3. die Beziehung zwischen dem Röntgenschattebild und der röntgenologisch definierten Zusammensetzung des Objekts,
4. die Beziehung zwischen dem röntgenologisch definierten Objekt und dem anatomisch definierten Objekt.

Während die Beziehungen 2, 3 und 4 wiederholt und ausführlich untersucht wurden, fehlt bisher jede Art systematischer Untersuchung über die erste Beziehung. Sie ist die Basis dieser Arbeit, in welcher die folgende Fragestellung abgehandelt werden soll:

Welche Beziehungen bestehen zwischen den Eigenschaften des (objektiven) photographischen Bildes, das durch die homogene Beleuchtung des Röntgenphotograms entsteht, und den Eigenschaften des (subjektiven) visuellen Bildes, das bei der Wahrnehmung dieses Photograms im Bewusstsein des Beobachters auftritt?

Eine einleitende erste Analyse in grossen Zügen zwingt zur Einführung des in der röntgenologischen und photographischen Literatur üblichen Begriffes „*photographisches Bildelement*“, worunter ein in sich geschlossener, gegen die Umgebung scharf abgegrenzter, gleichmässig heller Teil des photographischen Bildes verstanden wird. Analog diesem Begriff wird der Begriff „*visuelles Bildelement*“ für das visuelle Bild aufgestellt.

Um die Fragestellung zu beantworten muss man zu erst ausgehen von der Annahme eines „*vereinfachten objektiven Bildes*“, das heisst eines solchen, bei welchem der Grund das ganze Gesichtsfeld des Beobachters füllt und nur ein einziges Bildelement, welches foveal gesehen wird, vorhanden ist. Es erscheint weiters notwendig Einsicht zu erhalten in das Ausmass der Beeinflussbarkeit der Empfindlichkeit des Gesichtssinns.

Zum Studium unseres Problems erwiesen sich von allen Methoden zur Bestimmung der Gesichtssinnsempfindlichkeit die folgenden drei von Wichtigkeit:

- I. Die Bestimmung der Unterschiedsschwelle
- II. Die Bestimmung der Sehschärfe
- III. Die Bestimmung der objektiven Helligkeitsstufen, die subjektiven, gleichgrossen übermerklichen Helligkeitsunterschieden entsprechen.

Da solche Messungen vorgenommen werden müssen in Maassen der objektiven Helligkeit, wird eine Übersicht gegeben der zur Zeit gangbaren Helligkeitseinheiten, aus welcher sich die Wahl von Apostilb (asb) als die für das gestellte Problem brauchbarste ergibt. Wenn nicht anders angegeben, wird in dieser Arbeit immer Apostilb als Einheit angewendet.

Im II. Kapitel wird der Begriff Unterschiedsschwelle eingehend erörtert und der Begriff Empfindlichkeit (o. dr.) eingeführt. Empfindlichkeit (o. dr.) ist definiert durch

$$B/\Delta B; (\Delta B = B' - B),$$

worin

B die Ausgangshelligkeit in asb,

B' die Helligkeit des Bildelements, das von B eben noch unterschieden werden kann bedeutet. Eine genaue Analyse zeigt, dass von allen Faktoren, welche die Empfindlichkeit (o. dr.) zu beeinflussen vermögen, für die vorliegende Fragestellung die grösste Bedeutung haben:

Ih die Ausgangshelligkeit B

I_{fb} der Sehwinkel, unter welchem das Element B' erscheint

Ia der Adaptationszustand des Sehorgans.

Aus einer Übersicht über die Literatur, welche den Einfluss dieser Faktoren auf die Empfindlichkeit (o. dr.) behandelt, geht hervor, dass nur ein einziger Untersucher, Hertel (78) die Bedingungen des „vereinfachten objektiven Bildes“ realisierte und deren Bedeutung erkannte.

Schliesslich werden die in der Literatur niedergelegten Versuche den Einfluss verschiedener Faktoren auf die Empfindlichkeit (o. dr.) mathematisch zu interpretieren, diskutiert und der „aequivalent background hypothesis“ die grösste Wichtigkeit zugesprochen.

Im III. Kapitel werden eigene Untersuchungen dargelegt und eine Versuchsanordnung beschrieben, deren Prinzip sich an das des „Kugeladaptometers“ von Hertel anlehnt. Mit dieser Vorrichtung wurden Versuche ausgeführt unter weit möglicher Annäherung an das „vereinfachte objektive Bild“ um den Einfluss der im II. Kapitel unter Ih, I_{fb}, und Ia besprochenen Faktoren zu ermitteln. Es ergab sich folgendes:

- Ih Mit der Zunahme der Ausgangshelligkeit B nimmt die Empfindlichkeit (o. dr.) $B/\Delta B$ anfänglich zu um schliesslich konstant zu werden und bis zu sehr hohen Werten von B ($\log B = 4,2$ und wahrscheinlich noch höher) konstant zu bleiben. Die Kurve dieser Beziehung wird vor allen bestimmt durch die Grösse des Sehwinkels g , unter welchem das Element (B') erscheint. Für den Wert $g = 60'$ nimmt die Kurve eine besondere Form an.
- I_{fb} Mit der Zunahme des Sehwinkels g nimmt die Empfindlichkeit (o. dr.) zu. Für niedrige Werte von B erfolgt die Zunahme kontinuierlich, während für hohe Werte von B die Kurve, welche die Beziehung von g zu $\log B$ wiedergibt, sich als zweiteilig erweist, wobei das erste Maximum bei $g = 60'$ liegt.
- Ia Der Adaptationszustand des Sehorgans hat einen bestimmenden Einfluss auf die Empfindlichkeit (o. dr.) derart, dass die Empfindlichkeit unter allen Umständen dann am grössten ist, wenn das Sehorgan völlig an die Ausgangshelligkeit angepasst ist. Bei Dunkeladaptation ist dieser Faktor länger nachweisbar als bei Helladaptation.

Im IV. Kapitel wird eine Übersicht gegeben über die in der Literatur zu findenden Meinungen und Versuche über die Beeinflussbarkeit

II. der Sehschärfe

III. der Beziehung von objektiven Helligkeitsstufen zu subjektiven gleichgrossen übermerklichen Helligkeitsunterschieden.

Aus dieser Übersicht und eigenen Versuchen ergibt sich, dass

II. die Kurve, welche die Abhängigkeit der fovealen Sehschärfe von der Ausgangshelligkeit angibt, auch wohl die Beziehung zwischen der fovealen Empfindlichkeit (o.dr.) und der Ausgangshelligkeit ausdrückt

III. wiewohl es infolge unvermeidbarer Komplikationen sehr schwer ist zu bündigen Schlüssen über die Zuordnung von objektiven Helligkeitsstufen zu subjektiven gleichgrossen übermerklichen Helligkeitsunterschieden zu kommen, doch in Hinsicht auf die Abhängigkeit der Empfindlichkeit von der Ausgangshelligkeit näherungsweise gezeigt werden kann, dass auch hier die gleiche Gesetzmässigkeit herrscht.

Mit dem auf solche Weise gesammelten Material kann nun das im I. Kapitel umrissene Problem angegangen werden und folgende praktischen Leitsätze für die günstigsten Beobachtungsbedingungen bei der Beurteilung von Röntgenphotogrammen aufgestellt werden:

1. Die Lichtkastenelligkeit muss gross sein und zwar einen Wert zwischen 10 000 und 100 000 asb haben.
2. Lichtkasten mit monochromatischem Licht bieten keine Vorteile vor Lichtkasten mit sogen. weissem Licht.
3. Es muss dafür gesorgt werden, dass die Umgebung des Lichtkasten eine Helligkeit besitzt, die nahezu gleich ist der mittleren Helligkeit des beleuchteten Photograms.
4. Eine Vorrichtung durch welche die Helligkeit örtlich stark erhöht werden kann, ist empfehlenswert.
5. Vignettierungsblenden im Lichtkasten sind so auszubilden, dass ihre Helligkeit ungefähr der mittleren Helligkeit des nicht abgeblendeten Teil des Photograms entspricht.
6. Wird diesen Bedingungen entsprochen, so wird sich herausstellen, dass der Helligkeitsumfang des Photograms (d.i. der grösste Schwärzungsunterschied im zu beurteilenden Gebiet des Photograms) grösser gewählt werden kann als dies bisher bei der röntgenologischen Untersuchung üblich ist.

Anhangsweise werden die Beobachtungsbedingungen vor dem Fluoreszenzschirm beim Röntgendurchleuchtungsbild erörtert.

SUMMARY.

Chapter I explains the problem of the Röntgenologist: conversion of the visual image evoked in his consciousness by viewing a homogeneously lighted Roentgenogram to the anatomical qualities of the anatomical object under consideration.

This conversion consists of a number of phases, each of which necessitates knowledge of a relation, which relations can be distinguished as follows:

1. *Visual image to photographic image.*
2. *Photographical image to Roentgenological image.*
3. *Roentgenological image to Roentgenologically defined constitution of the object.*
4. *Roentgenologically defined object to anatomically defined object.*

It appears, that relation No. 1 has never been the subject of systematic research.

The problem studied in the preceding pages, may be formulated as follows:

Which relations exist between the properties of the (objective) photographic image, originating from a homogeneously lighted Roentgenogram and the properties of the (subjective) visual image which this photographic image evokes in the consciousness of the observer?

Preliminary analysis leads to the introduction of the conception of a "photographical image-constituent" (Photographisches Bildelement), as used in Roentgenological and photographical literature. This "image-constituent" consists of a self-contained uniformly bright part of the photographic image, which is sharply defined from the surroundings. Analogous reasoning leads to the introduction of the conception of "visual image-constituent" in connexion with the visual image.

For the time being we have limited our problem to a condition which we describe as "simplified objective image", i.e. an objective image, exclusively consisting of a background which totally fills the observers field of vision and of one other image-constituent, foveally perceived in relation to the background.

For analytical purposes it is necessary to review and consider the degree to which divers factors influence the *sensitivity* of the organ of vision.

From the methods to determine the sensitivity of the organ of vision three appear to be of great importance for the study of our problem, viz. the determination of

- I. *the differential threshold under various conditions*
- II. *visual acuity under various conditions*
- III. *objective steps in brightness conforming to equal subjective steps in discrimination.*

The different units of objective brightness are considered and it is found, that the *apostilb* (asb) is best suited to our purpose (1 apostilb = 10^{-1} millilambert). This unit has been constantly used; if not mention is made to that effect.

Chapter II details the conception of differential threshold and introduces the conception of "sensitivity (diff. thr.)"

Sensitivity (diff. thr.) = sensitivity of the organ of vision determined by measuring the differential threshold =

$$= B/\Delta B; (\Delta B = B' - B)$$

in which

B = initial brightness.

B' = brightness of the image-constituent which just allows discrimination from B .

Factors influencing sensitivity (diff. thr.) are surveyed. Important to us are:

Ih. initial brightness B .

Ifb. visual angle g , under which image-constituent (B') is observed.

Ia. measure of adaptation of the organ of vision.

The literature concerning the influence of these and other factors upon sensitivity (diff. thr.) is surveyed. It appears, that in only one experiment (Hertel (78)) an approach to the conditions of the "simplified objective image" has been made.

Several attempts at mathematical analysis of the influence of various factors operating on sensitivity (diff. thr.) are considered. Attention is asked for the "aequivalent background hypothesis", of presumable future importance.

Chapter III describes experimental arrangements, based on Hertel's "Kugel-adaptometer", with which our work has been done.

The object was to realize as closely as possible the conditions of the "simplified objective image" and then to study the factors influencing sensitivity (diff. thr.) (See Chapter I sub Ih, Ifb and Ia).

These experiments lead to the following conclusions:

Ih. During the first stages of raising the initial brightness B sensitivity (diff. thr.) $B/\Delta B$ increases; finally it becomes constant and remains so until very high values have been reached ($\log B = 4.2$ and probably still higher). The form of the curve plotting the relation concerned is determined to a considerable extent by the angle g , under which the image-constituent (B') is observed. For $g = 60'$ the curve takes a peculiar form.

Ifb. In increasing g sensitivity (diff. thr.) increases. For low values of B this increase is continuous, while for high values of B the curve plotting the relation between g and B assumes a dual character, with a first maximum for $g = 60'$.

Ia. The measure of adaptation of the organ of vision shows considerable influence on sensitivity (diff. thr.), always being greatest in case of full adaptation to the initial brightness B . The influence of this factor is much longer operative with dark-, than with lightadaptation.

Chapter IV reviews the literature concerning the influence of a number of factors on

II visual acuity

III the way in which a number of objective steps in brightness should be arranged so as to evoke equally great subjective steps in the observer's consciousness.

This review together and compared with our own experimental results concerning the differential threshold goes to show:

II The relation between (foveal) visual acuity and initial brightness probably resembles the relation between (foveal) sensitivity (diff. thr.), in case of small angle g , and initial brightness;

III. When endeavouring to arrange objective steps in brightness conforming to equally great subjective steps in discrimination, it is found, that owing to a considerable number of complicating factors it is not very well possible to find a clear relation between initial brightness and sensitivity. Nevertheless we have the impression, that sensitivity, as established with this method, shows approximately the same relation to initial brightness as sensitivity (diff. thr.).

With the facts so gathered the problem of Chapter I is approached again. This study leads to a number of practical points concerning the most favorable conditions for viewing Roentgenograms, to be summarized as follows:

- 1) *The brightness of the view-box should be as high as from 10000 to 100000 asb.*
- 2) *The use of view-boxes of particular colour has probably no advantages over the use of view-boxes with so-called "white light".*
- 3) *The surrounding of the view-box should have a brightness approximately equal to the mean brightness of the lighted photogram under consideration.*
- 4) *Arrangements allowing local elevation of brightness of the view-box are recommended.*
- 5) *The screens of the view-box should have a brightness approximately equal to the average brightness of the exposed part of the photogram.*
- 6) *Working under the conditions here described, it will probably be found, that greater differences in density (a greater "range" (Umfang) of the photogram), than so far usual, can advantageously be employed.*

Finally some attention is given to the considerations of observation of the Roentgen-image on the fluorescent screen.

LITERATUUR.

1. Abribat. Réunion inst. opt. Avril 1935.
2. Albertotti. Ann. di Ottalmol. (citaat).
3. Ament. Wundt's Philos. Studien. XVI 1900.
4. Arago. Sämmtl. Werke. uitgeg. door Hankel.
5. Arndt. Handb. der Lichttechnik (Sewig) 566 1938.
6. Aubert. Physiologie der Netzhaut.
7. Benussi. Arch. ges. Physiol. 1910.
8. Best. Naturwissensch. XVIII 236 1930.
9. Blanchard. Physical review. XI 81 1918.
10. Bohn. Poggend. Ann. Erg. Bd. VI 384.
11. Bouguer. Traité d'optique sur la gradation de la lumière éd. par Lacalle. 1760.
12. Broca. Thèse de doctorat (gecit. door Charpentier (20)).
13. Bühler. Dissert. Freiburg. 1903.
14. Bull. Arch. f. Ophthalmol. XXVII (1) 54 1881.
15. Campbell (and oth.) Proc. physic. soc. XLV 565 1933.
16. Carp. Inauguraldissert. Marburg 1876.
17. Carsten. Acta ophthalmol. Københ. II 125 1924.
18. Charpentier. Acad. des sciences. 1880.
19. Charpentier. Compt. rend. soc. de biol. Ser. 8 V 1888.
20. Charpentier. Traité de phys. biol. II 816 1903.
21. Chiba. Z. f. Psychol. XCII 177 1923.
22. Cobb. Transactions illumin. engin. soc. VIII 292 1913.
23. Cobb & Geissler. Psychol. review XX 425 1913.
24. Cobb. Psychol. review XXIII 71 1916.
25. Cobb. J. exp. psychol. I 540 1916.
26. Cobb. J. exp. Psychol. V 227 1922.
27. Cohn. Arch. f. Augenheilk. VIII 1879.
28. Cohn. Arch. f. Augenheilk. XIII 23 1883.
29. Crawford. Proc. Roy. soc. London Ser. B CXXIII 69 1937.
30. Crawford & Stiles. J. scienc. instrum. XII 177 1935.
31. Crozier. J. gen. physiol. IXX 503 1935—'36.
32. Crozier. Proc. Nat. Acad. scienc. U. S. XXII 412 1936.
33. Crozier & Holway. Proc. nat. acad. scienc. U. S. XXIII 23 1937.
34. Dauber. Fortsch. der Psychol. u. ihre Anwend. III 102 1914.
35. Delboeuf. Mém. couronn. et autres mém. XXIII 1873.
36. Dittler & Orbeli. Arch. ges. Physiol. CXXXII 338 1910.
37. Dittmers. Z. f. Sinnesphysiol. LI 214 1920.
38. Dobrowolsky. Arch. f. Ophthalm. XVIII (1) 66, 74, 92 1872.

39. Dobrowolsky. Arch. ges. Physiol. XII 432, 441 1876.
40. Dobrowolsky. Arch. ges. Physiol. XXIV 189 1881.
41. Duke Elder. Textb. of Ophthalm. 2e ed. I 1938.
42. Durup & Piéron. Année psychol. XXXIII 57 1932.
43. Durup & Piéron. Année psychol. XXXIV 41 1934.
44. Ebbinghaus. Grundz. der Psychol. 4e ed. I 539 1919.
45. Eggert, Franke & Luft.
46. Emerson & Martin. Proc. Roy. Soc. London Ser. A CIV 302 1923.
47. Emerson & Martin. Proc. Roy. Soc. London CVIII 483 1925.
48. Fechner. Elemente der Psychophysik 1860.
49. Fechner. In Sachen der Psychophysik 1877.
50. Fechner. Revision der Hauptpunkte der Psychophysik 1882.
51. French. Transact. opt. soc. London XX 209 1919.
52. French. Transact. opt. soc. London. XXI 127 1919.
53. Fröbes. Z. f. Psychol. XXXVI 1904.
54. Gage. Proc. Roy. Soc. London Ser. B CXVI 123 1934—'35.
55. Garten. Arch. ges. Physiol. CIIIX 233 1907.
56. le Grand. Rev. d'optique XII 145 1933.
57. Guild. Discussion on vision physic. and opt. soc. 112 1932.
58. Guillery. Z. Psychol. und Physiol. Sinnesorg. XIII 187 1897.
59. Hecht. J. gen. Physiol. VII 235 1925.
60. Hecht. Skand. Arch. f. Physiol. IL 146 1926.
- 60a. Hecht. J. Gv. physiol. XI 255 1928.
61. Hecht. Naturwissensch. XVIII 233, 237 1930.
62. Hecht. Howe laboratory of ophthalm. Bull. no 4 1931.
63. Hecht. Proc. nat. acad. scienc. XX 1934.
64. Hecht. Handbook of gen. exp. psychol. (Murchison).
65. Hecht. Cold Spring Harbor symposia on quantit. biol. III 1935.
66. Hecht. J. gen. physiol. IIXX 767 1935.
67. Hecht, Haig & Wald. J. gen. physiol. IXX 321 1935—'36.
68. Hecht. J. of physiol. LXXXVI 1936.
69. Hecht. Physiol review XVII 239 1937.
70. Hecht. Harvey lectures 1937—'38.
71. Hecht, Peskin & Patt. An. j. of physiol. CIXX 330 1937.
72. Heine. Z. f. Psychologie LIV 1910.
73. Heinz & Lippay. Arch. ges. Physiol. CCXVIII 437 1928.
74. Heinz & Lippay. Arch. ges. Physiol. CCIXX 462 1928.
75. Helmholtz. Physiol. Opt. 3e ed. II 144 1911.
76. Henry (Citaat Charpentier 1903).
77. Hering. Graefe-Saemisch Handb. 2e ed. I kap. XII 1 1905.
78. Hertel. Ber. Heidelb. Ophthalm. Ges. XLIX Zusammenk. 249 1932.
79. Hertel. Concilium Ophthalm. Holland. XIII Reports 1932.
80. Hess. Arch. ges. Physiol. CLXXXIX 50 1920.
81. Hirasawa. Acta Soc. ophthalm. Jap. XLII 696 (Duitsch ref. 46) 1938.
82. Hochstadt & Lippay. Arch. ges. Physiol. CCXXII 175, 768 1929.
83. Holladay. J. opt. soc. Am. XII 276 1926.
84. Holway. J. opt. soc. Am. XXVII 120 1937.

85. Holway & Hurvich. *Am. j. of psychol.* LI 687 1938.
86. Houstoun. *Philos. Magaz. Ser. VII VIII* 520 1929.
87. Houstoun. *Philos. Magaz. Ser. VII X* 433 1930.
88. Houstoun. *Philosoph. magz. Ser. VII XII* 538 1931.
89. Houstoun. *Vision and colour vision* 1932.
90. Houstoun. *Discussion on vision physical and opt. soc.* 1932.
91. Humboldt. *Kosmos III* 136 1850.
92. Javal. *Ann. d'ocul.* 1879.
93. Johansson & Petré. *Skand. Arch. f. Physiol.* XV 35, 72 1904.
94. Karrer & Tyndall. *Scienc. papers bur. of stand.* No 366 679 1920.
- 94a. Kentgens. *Dissertatie Utrecht* 1938.
95. Klein. *Sur l'influence de l'éclairage sur l'acuité visuelle* Paris. Masson. 1876.
96. König & Brodhun. *Sitz. Ber. Preuss. Akad.* 1888.
97. König. *Sitz. Ber. Kön. Preuss. Akad. d. Wissensch.* 559 1897.
98. König & Brodhun. *Sitz. Ber. Kön. Preuss. Akad.* 641 1889.
99. König. *Ges. Abhandl. zur Physiol. Opt.* Leipzig 1903.
100. Kravkov. *Arch. f. Ophthalm.* CXXVIII 105 1932.
101. Lamansky. *Poggend. Ann.* XVI 251 1870.
102. Lamansky. *Arch. f. Ophthalm.* XVII (1) 123 1871.
103. Lasareff. *Arch. ges. Physiol.* CXLII 235 1911.
104. Lehmann. *Wundt's Philos. Studien III* 497 1886.
105. Lohmann. *Z. Psychol. u. Physiol. Sinnesorg.* XLI.
106. Lohmann. *Arch. ges. Physiol.* CXLIII 567 1912.
107. Lowry. *J. opt. soc. Am.* XVIII 29 1929.
108. Lowry. *J. opt. soc. Am.* XXI 132 1931.
109. Luckiesk & Holladay. *Transact. illumin. engin. soc. N. Y.* XX 221 1925.
- 109a. Luckiesh & Moss. *Seeing.* Baltimore 1931.
110. Lythgoe. *Med. Res. council. spec. rep.* No 104 1926.
111. Macé de Lepinay & Nicati. *Ann. de phys. et chim. Ser. 5* 1888.
112. Macé de Lepinay & Nicati. *Ann. de phys. et chim. Ser. 5* 1883.
113. Macé de Lepinay & Nicati. *Bull. soc. Franc. d'ophthalm.*
114. Manolescu. *Ann. d'ocul.* LXXXIII 55 1880.
115. Masson. *Ann. de phys. et chim.* X 1845.
116. Maxwell. *Br. j. psychol.* XX 181 1929.
117. Mayer. *Comment. soc. Goetting.* 1754.
118. Middleton. *J. opt. soc. Am.* XXVII 112 1937.
119. Mintz. *Psychol. Forschung* X 299 1928.
120. Müller-Lyer. *Arch. Dub.-Reym.* 400 1887.
121. Müller-Lyer. *Arch. Dub.-Reym. Suppl.* LXXXXVI 1889.
122. Neiglick. *Wundt's Philos. Stud.* IV 28 1887.
123. Nutting. *Transact. illumin. eng. soc. N. Y. II* 1 1916.
124. Nutting. *J. Franklin inst. Philad.* CLXXXII 531 1936.
125. Ornstein. *Voordrachten betr. verlichtingsk.* 1 den Haag 1937.
126. Piéron. *Traité d'ophthalm.* II.
127. Plateau. (Cit. Ebbinghaus 1919).
128. Posch. *Arch. f. Augen- und Ohrenheilk.* V 14 1876.
129. Reeves. *J. opt. soc. Am.* I 148 1918.

130. Ricco. *Ann. di Ottalm.* VI 1877.
 131. Richardson. *Br. j. of psychol.* XX 27 1929.
 132. Richardson & Maxwell. *Br. j. of psychol.*
 133. Richardson. *Discussion on vision physic. and opt. soc. Lond.* 1932.
 - 133a. Roelofs en Zeeman. *Arch. f. Ophthalm.* XCIX 174 1919.
 134. Salomonson & Schouten. *Arch. ges. Physiol.* 389 1904.
 135. Schirmer. *Arch. f. Ophthalm.* XXXVI (4) 121 1890.
 136. Schjelderup. *Z. f. Sinnesphysiol.* LI 176 1920.
 137. Seffers. *Z. f. Sinnesphysiol.* LIII 255 1922.
 138. Simon. *Z. Psychol. u. Physiol. Sinnesorg.* XXI 433 1899.
 139. Smith. *Br. j. psychol.* XX 362 1930.
 140. Steinhardt. *J. gen. physiol.* XX 185 1936.
 141. Steinheil. *Kön. Bayr. Akad. Abh. Math.-Phys. Kl.* 1837.
 145. Stiles & Crawford. *Proc. Roy. Soc. London Ser. B* CXVI 55 1934.
 143. Stiles & Crawford. *Discussion on vision physic. and opt. soc. London* 1932.
 144. Stiles & Crawford. *Proc. Roy. Soc. London Ser. B* CXIII 496 1933.
 145. Stiles & Crawford. *Proc. Roy. Soc. London Ser. B* CXVI 55 1934.
 146. Stiles & Crawford. *Proc. Roy. Soc. London* CXXII 255 1937.
 - 146a. von Studnitz. *Physiologie der Netzhaut.*
 147. Treitel. *Arch. f. Ophthalm.* XXXIII (2) 73 1887.
 148. Tschermak. *Handb. der Norm. und pathol. Physiol.* (Bethe) XII 1e helft.
 149. Uhthoff. *Arch. f. Ophthalm.* XXXII (1) 171 1886.
 150. Vermeulen. *Voordr. betr. verlichtingsk.* 16 den Haag 1937.
 151. Volkmann. *Physiol. Unters. im Gebiete der Optik* Leipzig 1863.
 152. (Voordr.) *betr. verlichtingsk.* 110 den Haag 1937.
 153. Walsh. *Photometry* London 1926.
 154. v. d. Werfhorst. *Voordr. betr. verlichtingsk.* 5 den Haag 1937.
 155. Wilcox & Purdy. *Z. f. Sinnesphysiol.* LXIII 252 1933.
 156. Wright. *Proc. Roy. soc. Lond. Ser. B* CXV 49 1934.
 157. Wright. *J. of physiol.* LXXXIII 466 1935.
 158. Zwikker. *Leerboek der optiek.* Groningen 1933.
-

STELLINGEN

I.

Bij het opstellen van lichtkasten ter beoordeeling van Röntgen-photogrammen houde men rekening met de helderheid van de omgeving van de lichtkast. De omgeving behoort een helderheid te hebben, die overeenkomt met de gemiddelde helderheid van het doorlichte photogram.

II.

Physiologisch-optische experimenten, die ten doel hebben inzicht te verschaffen in de photochemische processen, die zich in de retina afspelen, behooren te geschieden bij constanten adaptatietoestand van het gezichtsorgaan.

III.

Het bij de „ziekte van Oguchi (type I)“ waargenomen „phenomeen van Mizuo“ is niet de oorzaak van het eigenaardig verloop van de donkeradaptatiecurve bij deze ziekte.

IV.

Het mond- en klauwzeervirus moet als een eiwitmolecule worden beschouwd. Het vermeerdert zich niet, doch wordt vermeerderd.

V.

Een streng handhaven van de theorie der specificiteit der kiembladen bij de verklaring van de vorming van het corpus vitreum is niet mogelijk.

VI.

Het is niet bewezen, dat hypersecretie van thymushormoon myasthenia gravis kan veroorzaken.

VII.

Refractiebepaling met behulp van „optometrische” methoden is ten onrechte geheel in onbruik geraakt.

VIII.

De intraveneuze behandeling met digilanid C verdient de voorkeur boven die met strophantine.

IX.

Het invoeren van verplichte aangifte van scabies is als maatregel ter bestrijding van deze ziekte niet aan te bevelen.

(Hermans, N.T.v.G. 1942.)

X.

Bij de quantitative bepaling van de weefseloxydatie is het noodzakelijk, rekening te houden met de zuurstofspanning in de suspensievloeistof.

XI.

De operatieve behandeling van pericarditis adhaesiva geschiede door chirurgen, die op dit gebied over bijzondere ervaring beschikken.

XII.

De meening, dat spanningspneumoperitoneum zou kunnen ontstaan uitsluitend door bacterieele gasvorming, is onjuist.



