



De betekenis van het gezichtsorgaan voor het tot stand komen van de ruimtevoorstelling

<https://hdl.handle.net/1874/361370>

A. g. m. 192, 1942

DE BETEKENIS VAN HET GEZICHTSORGAAN
VOOR HET TOT STAND KOMEN VAN
DE RUIMTEVOORSTELLING

J. W. WAGENAAR

DE BETEKENIS VAN HET GEZICHTSORGAAN
VOOR HET TOT STAND KOMEN VAN DE
RUIMTEVOORSTELLING

Diss. Utrecht 1942

DE BETEKENIS VAN HET GEZICHTS- ORGAAN VOOR HET TOT STAND KOMEN VAN DE RUIMTEVOORSTELLING

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 24 FEBRUARI 1942,
DES NAMIDDAGS TE 4 UUR

DOOR

JOHAN WILLEM WAGENAAR

GEBOREN TE UTRECHT

1942

DRUKKERIJ Fa. SCHOTANUS & JENS — UTRECHT



AAN F. P. FISCHER

7

Allereerst wil ik uiting geven aan een gevoel van groote dankbaarheid jegens mijne Ouders en Schoonouders, die mij de gelegenheid hebben geschonken in de Geneeskunde te studeeren en mij tot oogarts te bekwamen. Steeds zal ik voor oogen hebben, hetgeen Gij, Vader, mij door Uw voorbeeld hebt geleerd: vóór alles arts te zijn. Op mijn medische vorming hebt U, Schoonvader, een bepalenden invloed gehad.

Niet slechts eerbied voor een goede traditie, doch het besef van de beteekenis der Utrechtsche Universiteit, noopt mij in het bijzonder, U, Hoogleeraren, Oud-Hoogleeraren en overige Docenten van de Geneeskundige- en Natuur-Philosophische Faculteiten dank te brengen voor Uwe lessen.

Hooggeleerde WEVE, Hooggeachte Promotor, een woord van grooten dank wil ik tot U richten. Slechts zij, die het voorrecht hebben gehad van U hunne opleiding tot oogarts te mogen ontvangen, weten, wat het beteekent bij de behandeling van lijders aan oogziekten te kunnen profiteeren van Uw klinischen blik; Uw volharding in den strijd tegen een aanvankelijk ongeneeslijk schijnend ooglijden, de vele nieuwe ideeën, welke aan deze volharding ten grondslag liggen, hebben mij een diep respect afgedwongen.

Naast de aandacht, welke U aan klinische vraagstukken wijdt, wekt U bij Uw assistenten steeds belangstelling voor theoretische problemen. Groote vrijheid hebt U mij nochtans bij de keuze van het onderwerp voor dit proefschrift gelaten. Het vertrouwen, dat hieruit spreekt, stel ik op hoogen prijs.

De gastvrijheid, die U mij hebt verleend, heb ik in hooge mate gewaardeerd; Uw persoonlijke belangstelling van welke zij getuigde ondervond ik als een steun, ook op ander dan oogheelkundig gebied.

Hooggeleerde QUIX, Uw heldere uiteenzettingen over de physiologische ruimtevoorstelling hebben mijn inzicht in dit probleem zeer verdiept. De vele gesprekken, gedurende welke U menigen

goeden raad hebt willen geven, hebben bij mij gevoelens van ontzag en groote erkentelijkheid ontwikkeld.

Oud- en Mede-assistenten, met wie ik in het Nederlandsch Gasthuis voor Ooglijders heb samengewerkt; de band welke U en mij bindt is hechter dan dien, welke door een gemeenschappelijken werkring alleen ontstaat. De groote vriendschap, die ik van U heb mogen ontvangen, heeft mijn assistententijd tot een onvergetelijke episode gemaakt.

Waarde SCHÜTZ, VAN BERKEL en GRONDIJS, op Uw bereidwilligheid, vakmanschap en tijd deed ik nooit tevergeefs een beroep. U hebt mij zeer verplicht.

Tenslotte wil ik allen, die op eenigerlei wijze hebben bijgedragen tot het gereed komen van dit proefschrift, mijn oprechte waardeering betuigen.

INLEIDING

Het lag in mijn bedoeling de waarneming van het wegdraaien der ruimte bij asymmetrische convergentie, welke ik bij mijn onderzoek over binoculaire ophthalmoscopie zonder stereoscopischen oogspiegel¹¹⁷⁾ deed, nader te bestudeeren. Terwijl ik mij bezig hield met de analyse van dit merkwaardige phenomeen, bleek al spoedig, dat dit niet kon worden opgehelderd zonder de fundamenteele elementen van onze ruimtegewaarwording in een wijder verband na te vorschen. De achterliggende studie is een eerste stap in deze richting. Het was voor mij een verblijdende verrassing bij het lezen van de litteratuur te bemerken, dat ik met het bestudeeren van den ruimtezin een oude Nederlandsche traditie volgde. Donders, Snellen, van der Meulen, van Dooremaal, Mulder, Koster, Eindhoven, Straub, Zeeman, Roelofs, Roëhat, Schoute, Marx, van Albada, Quix, ten Doesschate en Verwey hebben allen pionierswerk op dit gebied verricht en ik steun, zoo al niet steeds direct, met mijn onderzoek mede op hun arbeid. Ik hoop de gelegenheid te hebben hun weg te volgen door de vraagstukken, welke zich tijdens mijn onderzoek voordeden en voorloopig moesten blijven rusten, in de toekomst te kunnen uitwerken.

//

HOOFDSTUK I

OVER DE PROBLEEMSTELLING

§ 1. *Beschrijving van de proeven, welke tot de probleemstelling leidden.*

Wanneer men, een voorwerp binoculair fixeerende, één oog met de hand bedekt en nu zoodanig convergeert, dat slechts het bedekte oog binnenwaarts draait, terwijl het fixeerende oog geen beweging uitvoert — asymmetrische convergentie —, dan ontstaat een hoogst merkwaardige sensatie: men heeft de gewaarwording, dat de geheele ruimte, het fixatiepunt inclus, in de convergentierichting wegdrijft.

Deze proef zal niet iedereen aanstonds gelukken, omdat zij eenigermate de beheersching van oogspierbewegingen vraagt, zonder welke het niet mogelijk is asymmetrisch te convergeeren. De vereischte asymmetrische convergentie moet men oefenen. Ook ik heb mij moeten oefenen. Ik ben tot deze waarneming gekomen, toen ik mij op het vrije stereoscopiseeren heb toegelegd. Ook dit vrije stereoscopiseeren, het bezien van stereoscopische afbeeldingen of Röntgenphoto's zonder een daartoe ontworpen apparaat, vergt eenige beheersching en contrôle van willekeurige oogbewegingen, in het bijzonder van de relatieve convergentie en divergentie. Hierbij werd het mij mogelijk zoowel met het linker als met het rechter oog convergent te strabeeren, van 1° tot $\pm 10^\circ$ met behoud van scherpe dubbelbeelden op 5 M, van $\pm 10^\circ$ tot $\pm 30^\circ$ zonder scherpe beelden, over welk laatste gebied dus mijn relatieve convergentie te kort schiet en de accommodatie wordt meegesleurd. Aanvankelijk moest ik mijn aandacht op de dubbelbeelden richten, wilde ik de gewenschte convergentie bereiken. Na eenigen tijd gelukte het zonder inspanning, mij orienteerende op een zich ontwikkelend „spiergevoel” in de muscoli interni, één oog achter de bedekkende hand te laten convergeeren, terwijl het andere zijn stand in de

ruimte volkomen bewaarde, dat wil zeggen met groote nauwkeurigheid een fijn object bleef fixeeren. Daarbij deed ik de beschreven waarneming.

Volledigheidshalve deel ik eenige persoonlijke gegevens mede. Mijn oogen zijn voorzoover na te gaan volkomen symmetrisch, zoowel in anatomischen zin, als wat hunne functie betreft. Er bestaat hypermetropie van ongeveer 1.25 D, visus geheel gelijkwaardig van ruim $1\frac{1}{3}$. Een esophorie van $0,5^\circ$, bepaald op 5 M zonder correctie, meen ik te mogen veronachtzamen. Een „mastereye” heb ik met geen enkele proef kunnen vaststellen.

Het wegdrijven der subjectieve ruimte is zoo duidelijk, dat ik direct wenschte de grootte dezer beweging te meten. Daartoe sloot ik een vingerwijsproef aan:

Ik koos mij een fixeerpunt op 1 M afstand van mij verwijderd, recht voor mij uit. Dit punt, waargenomen door het rechter oog tijdens de asymmetrische convergentie van het bedekte linker oog, wordt door den rechter wijsvinger aangewezen door het omhoogbrengen van den gestreken arm, totdat de vinger in het subjectieve horizontale vlak schijnt te zijn.

Aanvankelijk leek er slechts een neiging tot deviatie naar rechts te bestaan, welke geen meetbare waarde verkreeg. Dit vond zijn oorzaak in de optische contrôle van deze ongeveer 2 seconden durende armbeweging. Er liet zich een duidelijke afwijking naar rechts vaststellen, wanneer de arm snel naar boven werd gebracht. Sloot ik de optische contrôle geheel uit door het onderste deel van het gezichtsveld af te schermen, waardoor de armbeweging niet dan op het oogenblik, waarop mijn vinger zich in het subjectieve horizontale vlak vertoonde, gezien werd, zoo bleek de afwijking nog grooter en constant te zijn. Nog zij vermeld, dat ter voorkoming van haptisch-kinetische invloeden op de localisatie tusschen elke wijsproef eenige willekeurige armbewegingen werden uitgevoerd.

Ik gevoelde het als een nadeel, dat de asymmetrische convergentie achter de bedekkende hand voor derden oncontroleerbaar was, omdat zij mijn oogbeweging niet zagen. Een ondoorzichtige schaalprothese, welke Dr. Thier voor mij vervaardigde, stelde mij in staat, de oogbeweging zonder bedekking uit te voeren, terwijl

toch het oog uitgeschakeld was bij het zien en derden de overeenkomst van de werkelijke oogbeweging met mijn subjectieve ge-
waarwording ervan konden vaststellen. Ook bij deze proeven met
de prothese voor het linker oog waren de resultaten geheel dezelfde.

Wij zullen deze proef *Proef A* noemen, of de *Proef der asymmetrische convergentie met open oogen*.

Men kan zich nu afvragen of de vingerwijsproef een juiste indicator is voor de draaiing der subjectieve ruimte, welke zich bij proef A voordoet. Het vormt een probleem op zich zelf of tijdens deze centraal geleide veranderingen in de oogspiertonus, ten deele met een oogspierbeweging als gevolg, er niet eenige invloed op het vestibulair orgaan wordt uitgeoefend, of mogelijk andersom, het vestibulair orgaan niet mede invloed op dit nieuwe spierevenwicht en dientengevolge op de nieuwe localisatie heeft. Om dit nader te onderzoeken deed ik een wijsproef onder andere omstandigheden. Allereerst voerde ik de armbeweging uit onder controle van het vrije rechter oog tijdens asymmetrische convergentie van het bedekte linker oog. Hierbij werd ik gewaar, dat de armbeweging, die een tendenz naar rechts had, werd gecorrigeerd. Bij gesloten oogen kon deze afwijking naar rechts ongestoord tot stand komen. Om uit te sluiten, dat hier een nieuwe fout insloep, namelijk een naar rechts gelocaliseerde draaiing van het herinneringsbeeld, deed ik twee controleproeven. Ten eerste het met gesloten oogen aanwijzen van het tevoren door het rechter oog, *zonder convergentie* van het linker, gefixeerde punt der objectieve gezichtsruimte. Een deviatie kwam niet tot stand. Ten tweede bleef ik fixeeren met het rechter oog, nadat het linker geconvergeerd stond, en schermde nu de onderste helft van mijn gezichtsveld af, waardoor de armbeweging tot op het laatste oogenblik onzichtbaar bleef. De afwijking was nu juist even groot als met gesloten oogen. Het herinneringsbeeld heeft dus een betrouwbare localisatie, althans in het gebied van het mediane vlak (mits er niet te veel tijd verloopt tusschen fixatie en aanwijzen).

Een volgende stap was deze: dank zij het eerder genoemde „spiergevoel” (een uitdrukking, van welke de juistheid in dit verband zeer betwistbaar is) bleek het mij mogelijk de asymmetrische convergentie uit te voeren, terwijl *beide* oogen zijn gesloten. Ik kan mij van den juisten stand der dubbelbeelden overtuigen, na

de beweging aldus te hebben uitgevoerd*). Dit geeft mij de gelegenheid om de optische elementen bij het tot stand komen van de nieuwe localisatie tijdens de asymmetrische convergentie, zooals in mijn proef beschreven, uit te schakelen.

De nieuwe wijsproef wordt dan als volgt uitgevoerd:

Het linker oog wordt hetzij met de hand hetzij door een prothese bedekt, het rechter oog fixeert een punt op 1 M recht vooruit in het mediane vlak. Beide oogen worden vervolgens gesloten. Het linker oog wordt eerst nu in convergenten stand gebracht. De vingerwijsproef wordt met den rechter arm uitgevoerd met het door het rechter oog gewonnen herinneringsbeeld als richtsnoer. *Er blijkt evenzeer een zij het geringere afwijking naar rechts te bestaan.* Deze proef willen wij hieronder verder als *Proef B* aanhalen, of als *Proef der asymmetrische convergentie met gesloten oogen.*

Alvorens ons te verdiepen in de problemen, welke deze beide waarnemingen opwerpen, mogen wij eerst een blik terugslaan om

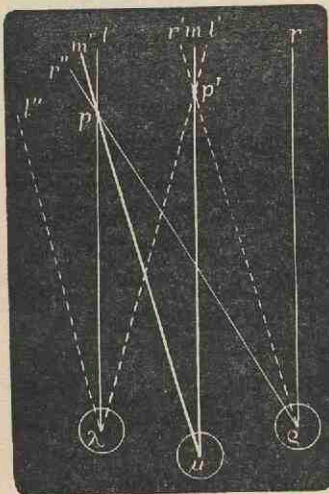


Fig. 1.

te zien in hoeverre zij nieuw zijn. In de mij toegankelijke litteratuur vond ik slechts bij Hering⁴²⁾ een proef aangegeven, welke bij oppervlakkige beschouwing groote gelijkenis vertoont met het boven beschreven experiment:

„Eine sehr auffällige Scheinbewegung tritt ein, wenn bei einäugigem Sehen der Fixationspunkt aus der Ferne in die Nähe verlegt wird oder umgekehrt. Dieselbe erläutert zugleich das Gesetz der Sehrichtungen und das der associirten Innervation.

Fixiert man nämlich zunächst einen fernen Punkt, so dass die Gesichtslinien (λl und ρr) parallel liegen, und bringt in die eine, z.B. linke

Gesichtslinie ein kleines nahes Object (p), so scheint sich dieses,

*) Later was ik in de gelegenheid door gebruik te maken van twee schaalprothesen deze proef met open oogen te doen en haar aldus meer objectiviteit te verleen.

wenn man das rechte Auge schliesst und dann für das nahe Object accommodirt, nach links zu bewegen. Das Object erscheint nämlich, ehe es noch fixirt wird, nicht nur näher, als der anfangs betrachtete ferne Punkt, sondern auch nach links von der Medianebene, und der Aufmerksamkeitsort wird also von dem fernen medianen nach einem nahen seitlichen Punkte des Raumes verlegt. Dies bedingt nicht nur eine Aenderung des absoluten Tiefenwerthes des Kernpunktes, sondern auch eine Aenderung der absoluten Breitenwerthe. Der Aenderung des ersteren entspricht die Verlegung des Kernpunktes aus der Ferne in die Nähe, der Aenderung der Breitenwerthe eine Verschiebung desselben aus der Medianebene nach links. Da sich aber bei dieser Aenderung der absoluten Breitenwerthe der relative Breitenwerth des Netzhautbildes vom fixirten Objecte (p) nicht ändert, vielmehr das linke Auge seine Stellung zum Objecte beibehält, so ergibt sich eine Scheinbewegung."

Het essentieele verschil is hierin gelegen, dat Hering bewust accommodeert op een punt gelegen in de gezichtslijn van het fixeerende oog, terwijl het andere aan de fixatie niet deelnemende oog ten gevolge van de accommodatie een convergentiebeweging uitvoert, welke niet primair wordt nagestreefd. Dit wordt bij mijn proef A wel als beginprikkel genomen, terwijl hier juist de accommodatie bij sterke convergentie secundair wordt meegeprikkeld, evenwel niet door wijziging in de plaats van het fixeerpunt. De omstandigheden, hoewel uiterlijk eenigszins vergelijkbaar, zijn dus in den grond verschillend en derhalve mogen de gevolgtrekkingen uit deze beide proeven niet naast elkander worden geplaatst. Bij proef A wordt immers geconvergeerd *met behoud* van een scherpe afbeelding van het fixeerpunt, zoodat de accommodatie in het geheel geen beteekenis heeft, omdat zij als onveranderlijke factor geen nieuwe verwickelingen scheidt.

Het schijnt mij daarom toe, dat mijn proef A nieuw is, omdat als eenige overeenkomst met die van Hering slechts het ontstaan van een schijnbeweging bestaat.

Proef B is voor zoover ik kon navorschen nieuw door de éénzijdige convergentiebeweging. Overigens gaat zij in menig opzicht parallel met waarnemingen uit het einde der 19e eeuw. Zoo schijnt Delage⁴⁾, die het eerst wijsproeven uitvoerde (geleid door een optisch

herinneringsbeeld), tevens als eerste den invloed van oogbewegingen op de subjectieve localisatie te hebben onderzocht. Hij vond, zooals ook later Aubert ⁴⁾ beschreef, bij linkswending der bedekte oogen een naar rechts verplaatsing van het subjectieve mediane vlak, dus tegengesteld aan de oogbeweging. Br. Fischer ²⁷⁾ bevestigt deze vondst. Kiss ^{*)} ⁴⁸⁾ daarentegen geeft aan, dat bij zijwaartsche blikwending zeer vaak in dezelfde richting wordt afgeweken met den arm. Bárány ⁶⁾ doet eveneens deze waarneming. Wodak en M. H. Fischer ¹²¹⁾ komen echter tot een gelijk resultaat als Delage, Aubert en Br. Fischer, terwijl de door hen nagedane proeven van Kiss onzekere uitkomsten gaven.

Proef B is dus in wezen niet origineel, slechts de éézijdige convergentie geeft er een bijzonderen vorm aan. Wanneer wij haar echter bezigen als contrôle en correctie op proef A, dan leiden beide tot een nieuwe probleemstelling.

§ 2. *Probleemstelling aan de hand van een analyse der beschreven proeven.*

Tot een juiste probleemstelling komen wij slechts door een nauwkeurige ontleding van de beteekenis der boven beschreven waarnemingen. Proef A brengt ons tot het probleem der egocentrische localisatie, een begrip, dat werd ingevoerd door G. E. Müller ⁶⁷⁾, en waaronder wordt verstaan de localisatie van optische indrukken ten opzichte van de voorstelling van ons eigen lichaam, welke laatst door zijn uitbreiding in een subjectief mediaan, subjectief horizontaal en subjectief frontaal vlak een tridimensionale waarde heeft binnen de subjectieve gezichtsruimte in ons bewustzijn.

*) Wodak en M. H. Fischer ¹²¹⁾ schrijven: „Kiss gibt an, dass man bei Seitenwendung mit offenen Augen (es wird nur ein Schirm vor die Augen gehalten, so dass die Versuchsperson ihre Arme nicht sehen kann), nach der Seite der Blickwendung häufig vorbeizeige.“ Ik heb bij nauwkeurige studie van de publicatie geen enkel woord kunnen ontdekken, waaruit de auteurs de conclusie hebben mogen trekken, dat bij de proeven van Kiss een deel van het gezichtsveld wordt afgeschermd en dat de proefpersoon zijn armen niet kan zien. Wel geeft Kiss aan, dat hij tusschen elke proef de handen op de knieën heeft laten rusten. Hoogstwaarschijnlijk deed hij dit met de bedoeling haptische herinneringen te voorkomen, hetgeen op deze wijze zeker niet mogelijk is, integendeel, er wordt aldus een kinaesthetische gewaarwording opgewekt, welke vermeden dient te worden, omdat zij een afwijking zou kunnen remmen of zelfs voorkomen.

Wij kunnen eenige voorwaarden opstellen, waaronder de subjectieve gezichtsruimte als geheel schijnt te bewegen*). Voorop dient gesteld, dat deze beweging wordt beoordeeld naar de (schijn)-beweging der elementen dezer ruimte, waarbij het voldoende is, dat bij voorbeeld de elementen der kernvlakte, samen met wat zich daarbij als achtergrond formeert, bewegen.

Tabel I.

	Obj. gez. ruimte	„ego” (objectief)	subj. inzicht	subj. effect
I	o. gez. r. in rust	„ego” in rust	„ego” rust	s. gez. r. rust
II	o. gez. r. in rust	„ego” in rust	„ego” beweegt	s. gez. r. beweegt
III	o. gez. r. in rust	„ego” in beweging	„ego” rust	s. gez. r. beweegt
IV	o. gez. r. in rust	„ego” in beweging	„ego” beweegt	s. gez. r. rust
V	o. gez. r. in beweging	„ego” in rust	„ego” rust	s. gez. r. beweegt
VI	o. gez. r. in beweging	„ego” in rust	„ego” beweegt	s. gez. r. kan in rust zijn
VII	o. gez. r. in beweging	„ego” in beweging	„ego” rust	s. gez. r. : onbepaald
VIII	o. gez. r. in beweging	„ego” in beweging	„ego” beweegt	s. gez. r. : onbepaald

Om een overzicht te verkrijgen, willen wij de beweging of verplaatsing van de oogen, van het hoofd of van het lichaam samenvatten als beweging van het „ego”, een begrip, dat elke beteekenis in psychologisch opzicht mist. Daartegenover komt dan te staan: rust van het „ego”, waaronder dus wordt verstaan onveranderde primaire stand van oogen, hoofd en lichaam. Daarnaast kunnen wij een psychologische waarde toevoegen, en wel het al of niet juiste subjectieve inzicht in de rust of de beweging van het „ego”, waardoor dus reeds vier combinaties ontstaan. Tenslotte blijft over de

*) Het spreekt van zelf, dat het zien van bewegingen: „er beweegt iets in mijn subjectieve ruimte” in het volgende niet wordt beoogd.

rust (onbeweeglijkheid) of beweging der objectieve gezichtsruimte, welke gecombineerd met de andere mogelijkheden acht gevallen doen ontstaan. Bovenstaande tabel verduidelijkt deze acht gevallen en geeft het eindeffect: de gewaarwording van het al of niet bewegen der subjectieve gezichtsruimte.

Wij willen deze acht voorwaarden met voorbeelden illustreren om de gedachte situaties, welke zij scheppen, den lezer levend te maken.

Voorwaarde I doet zich voor, wanneer men rustig neergezeten een landschap beziet. Uiteraard beweegt de gezichtsruimte zich hierbij niet.

Voorwaarde II geldt, wanneer men eenigen tijd in een snel bewegende draaimolen heeft gezeten en men — wij laten in het midden waarom — de buitenwereld ziet wegdraaien, nadat de beweging heeft opgehouden.

Voorwaarde III ontstaat veelal, wanneer men zich geen juiste reenschap geeft van de bewegingen van een schip, waarop men zich bevindt, bij het zich verwijderen of naderen van den wal, hetgeen in de hier volgende passage uit een brief van Lichtenberg *) omstreeks anno 1790 zeer typisch wordt beschreven: „ich glaube, die Erde geht fort und die Sonne steht stille, denn als ich neulich in einem Boote vom Lande stieß, drehte sich das feste Land ebenso und doch bewegte sich das Boot“.

Voorwaarde IV wordt gevormd bij iedere oog- en hoofdbeweging, welke als gevolg van een blikwendingsimpuls wordt uitgevoerd. Ondanks de bewegende netvliesbeelden wordt de buitenwereld in rust waargenomen, hetgeen een „conditio sine qua non” uitmaakt voor een constanten indruk van de ons omgevende ruimte.

Voorwaarde V behoeft geen uitvoerige toelichting, daar dit de eenvoudigste omstandigheid vormt, waarbij de gewaarwording van beweging der gezichtsruimte tot stand komt. Zoo bij voorbeeld als men op een brug staande, welke over een breede rivier voert omlaag ziet. Vrij plotseling kan zich echter een verandering voordoen, waardoor

voorwaarde VI ontstaat, namelijk wanneer men de beweging

*) G. Ch. Lichtenberg, Schreiben an Herrn Werner in Giessen, die Newton'sche Theorie vom Licht betreffend. Physikalische und Mathematische Schriften. Teil IV von vermischten Schriften. Wien 1844.

somtijds op zich zelf betreft en men zich met een snelheid gelijk aan de stroomsnelheid boven een stilstaand water waant te bewegen. Wagner speculeert op dit phenomeen bij zijn groote „Verwandlungs-Scene” in Parsival, waarbij de toeschouwer zich meegenomen voelt tot in den Gralsburg.

Voorwaarden VII en VIII zijn in wezen gelijk aan V en VI, slechts hangt het van de verhoudingen der bewegingen der objectieve gezichtsruimte eenerzijds en van het „ego” anderzijds af of er rust dan wel beweging der subjectieve gezichtsruimte resulteert.

Wat de feitelijke gegevens betreft komen voor de analyse van proef A slechts voorwaarden I tot en met IV in aanmerking, daar bij deze proef de objectieve gezichtsruimte in rust is. Beschouwen wij het subjectieve effect dezer voorwaarden, zoo blijkt slechts dat van II en III overeen te komen met het wezenlijke der gedane waarneming bij proef A, het wegdrijven of wel bewegen der ruimte.

Zoolang wij niet nader hebben onderzocht op welke wijze wij de éézijdige convergentie tot stand brengen en op welke wijze wij haar realiseeren, weten wij niet of dit phenomeen behoort onder II of onder III, of onder beide, terwijl als laatste mogelijkheid blijft, dat het niet is uit te maken. Een verdere analyse is dus noodig.

Bij het opstellen der acht voorwaarden hebben wij de volgende begrippen onderscheiden:

1. de objectieve gezichtsruimte;
2. het „ego”;
3. het subjectieve inzicht in den toestand van het „ego”;
4. het subjectieve effect.

Binnen het kader van deze bespreking valt aan de objectieve gezichtsruimte niets te analyseeren, evenmin aan het subjectieve effect, waaraan wij uit den aard der zaak vasthouden als algeheel uitgangspunt. Voor de verdere analyse is dus het „ego” en het subjectieve inzicht toegankelijk.

Ons eerst bepalende tot het „ego” kunnen wij ons de vraag stellen: onderscheidt zich de werkelijke beweging respectievelijk de voorgestelde beweging van het „ego” bij proef A onder voorwaarden II en III van andere bewegingen onder gelijke voorwaarden? Inderdaad is dit het geval. Alle andere bewegingen, welke de oogen

uitvoeren, doen zij als „span” *). Bij het normale zien wordt weliswaar ook wel asymmetrisch geconvergeerd, maar altijd om de normale binoculaire fixatie te bewaren. Bij proef A is echter van binoculaire fixatie geen sprake, integendeel: er wordt primair met één oog blijvend gefixeerd, waarvoor spierinspanning noodig is, terwijl het andere oog eveneens dank zij spierinspanning wordt bewogen. De omstandigheden van proef A zijn dus uitzonderlijk. Dit maakt het ons moeilijk voor wat betreft den toestand van het „ego” te kiezen tusschen voorwaarden II en III.

Onderwerpen wij nu ook het subjectieve inzicht aan een nadere beschouwing en vragen ons daarbij af, wat er in den proefpersoon bewust wordt of kan worden. Primair bestaat er geen inzicht in de beweging der oogen, hetgeen blijkt uit het feit, dat in den aanvang telkenmale contrôle noodig is om zich van den stand der oogen te vergewissen. In het algemeen heeft men altoos de voorstelling van één oog, het imaginaire dubbeloog te bewegen. De oogen bewegen zich niet alleen als span, maar worden ook als span geleid, hetgeen beteekent, dat men zich geen rekenschap geeft, welke beweging voor elk oog afzonderlijk noodig is om een bepaald punt in de ruimte binoculair te fixeeren. Om te kunnen kiezen tusschen voorwaarde II en III zouden wij nu moeten aannemen, dat het inzicht in de oogbewegingen te splitsen is in het inzicht omtrent den stand of standsverandering van elk oog apart, hetwelk gebleken is primair zeker niet te bestaan. Ook het in feite waarnemen met één oog betreft men op het imaginair dubbeloog, hetgeen moge blijken uit de mededeelingen van Köllner ⁴⁰⁾, die bij eenzijdig geëucleëerden een egocentrische localisatie vond van het imaginaire dubbeloog uit (hier dus met dubbel recht imaginair!), varieerend van 3 tot 20 jaar na het verlies van een oog, respectievelijk verstoring van het dubbeloog. Het is dus zeer begrijpelijk, dat tijdens een proef van eenige seconden, ten hoogste eenige minuten, het dubbeloog als localisatiecentrum niet verdwijnt; ergo: ook de stand van het bedekte oog is bepalend voor de egocentrische localisatie. Dit heeft Helmholtz ⁴¹⁾ reeds uitgesproken op grond van de proef van Hering, welke wij hierboven reeds noemden: „es hat also nicht nur die Stellung des sehenden Auges, sondern

*) Een uitdrukking, welke ik overneem van Prof. Weve.

auch die des geschlossenen Auges Einfluss auf unsere Beurtheilung der Richtung in der der fixirte Gegenstand liegt". (Physiol. Optik 1e dr. blz. 608).

Aangezien bij de proef van Hering het fixeerpunt van plaats verandert, is deze stelling als conclusie uit deze proef niet geheel gewettigd, wel echter uit mijn waarneming.

Er is evenmin reden om aan te nemen, dat er tijdens de proef plotseling een inzicht in den stand van elk oog afzonderlijk optreedt. Wij moeten dus de gevolgtrekking maken, dat zoowel de beweging van het bedekte oog, als het waarnemen met het fixeerende oog op het dubbeloog wordt betrokken. Hieruit is dan tevens af te leiden, dat voor wat betreft de beweging van het „ego", de beweging van het dubbeloog een criterium is en niet de beweging of rust van één oog. Dit dwingt ons het phenomeen te rangschikken onder voorwaarde III, waarbij dus blijkbaar het onveranderlijke fixeeren van het vrije oog ons het subjectieve inzicht van rust van het „ego" heeft verschaft.

De schijnbeweging der subjectieve ruimte is een primaire gewaarwording. Eerst wanneer men zich bewust wordt, dat de objectieve ruimte geen oorzaak levert voor deze beweging, kan men zich voorstellen, dat dit phenomeen is terug te brengen tot het draaien in tegengestelden zin van het subjectieve mediane vlak. Dit kunnen wij ook experimenteel vaststellen. Wij stellen ons bij voorbeeld op 5 M afstand voor een effen wand op, welke dus geen aanknoopingspunten biedt voor eenige localisatie. Bij primairen stand van beide oogen, van welke echter één bedekt wordt, kijkt de proefpersoon naar den wand. Een helper beweegt nu op ooghoogte een vinger of staaf in horizontale richting langs dezen wand, totdat het den proefpersoon toeschijnt, dat de vinger met zijn subjectieve mediane vlak samenvalt, waarbij slechts aanwijzingen worden gegeven als: „meer naar rechts, meer naar links", dus zonder te wijzen. De helper markeert de aangegeven plaats op een slechts voor hem zichtbare wijze. Nu convergeert de proefpersoon asymmetrisch als bij proef A. Het subjectieve mediane vlak wordt nu in een aan de convergentie tegengestelden zin gedraaid gelocaliseerd, quod erat demonstrandum.

Figuur 2 licht dit toe. In figuur 2a zij de bliklijn van het fixeerende rechteroog samengevallen met het mediane vlak — wanneer wij een punt op 5 M fixeeren, is dit geen fout van beteekenis. Bij proef A schijnt de ruimte en dus ook het punt M zich naar rechts te verplaatsen bij convergentie van het linker oog. Figuur 2b geeft weer welke beweging de proefpersoon aan het rechteroog en tevens aan het punt M toeschrijft, waarbij dus M' in het subjectieve mediane vlak schijnt te liggen. In werkelijkheid is M niet van plaats veranderd, evenmin is het oog gedraaid. Het punt M', dat in het subjectieve mediane vlak wordt gelocaliseerd, bevindt zich dus links van het objectieve mediane vlak, zooals figuur 2c aangeeft.

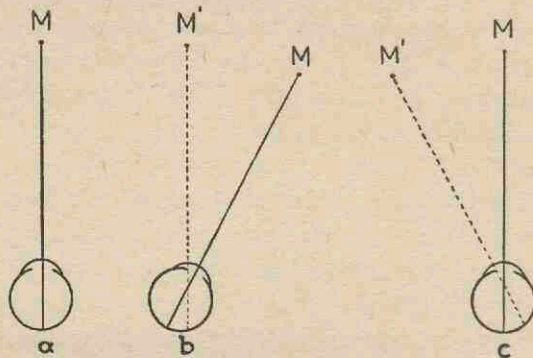


Fig. 2.

Wanneer wij nu met den arm het gefixeerde punt willen aanwijzen (proef A), dan blijkt, dat wij miswijzen in dezelfde richting als waarin de optische indruk van het punt M foutief wordt gelocaliseerd. Er zou nu een eenvoudige betrekking kunnen bestaan tusschen de mate waarin de wegdraaiing wordt waargenomen eenerzijds en de miswijzing met den arm anderzijds. Het probleem zou zich dan beperken tot de vraag, waarom de gewaarwording van draaien der subjectieve ruimte optreedt en hoe deze gewaarwording tot stand komt. Daartoe moeten wij allereerst weten hoe men tot de hoofdvlakken van de subjectieve ruimte komt en wel in het bijzonder — daar het bij onze proeven slechts bewegingen in het horizontale vlak betreft — hoe men zich het subjectieve mediane vlak kiest. Een drietal theorieën staan ons ten dienste:

In de eerste plaats die, waarbij het bewustzijn over den stand

der oogen een bepalende factor zou zijn. Dit bewustzijn zou weer op drie wijzen kunnen ontstaan; door innervatie-gewaarwordingen, dus centrifugaal (o.a. Helmholtz); door spanningsverschillen in het bindvlies der oogleden (Bourdon ^{7, 8}); en tenslotte centripetaal door spiergevoel der afzonderlijke oogspieren, in hoofdzaak van de musculi recti interni (o.a. Wundt ¹²⁸).

In de tweede plaats mag ik de theorie noemen, welke de egocentrische localisatie op zuiver optische gronden verklaart (Sachs en Wlassak ⁸⁶).

In de derde plaats de leer der indirect-sensorische functie van de oogspieren (Tschermak ^{107, 110}). Deze neemt een „Spannungsbild“ *) van elk stel oogspieren aan, welke samen met de netvliesbeelden de hoofdvlakken, het mediane vlak en het horizontale vlak subjectief bepalen, naar welke men zich verder orienteert.

De juistheid der eerste groep van theorieën is voldoende weerlegd door Hofmann ⁴⁴) en later nog door Hillebrand ⁴⁶). Het hoofdargument van beide schrijvers is, dat er geen positiebewustzijn van het oog bestaat, dat in fijnheid ook maar eenigermate te vergelijken is met de gevoeligheid van het netvlies voor hoekverschillen der invallende stralen. Terwijl deze laatste in minuten of onderdeelen daarvan uitgedrukt kan worden, is het behouden van een bepaald oogstand, wanneer optische indrukken ontbreken, onderhevig aan fouten van omtrent 1°.

De tweede theorie faalt evenzeer om de waarneming bij proef A te verklaren, daar er tijdens de proef geen verandering in de afbeelding op het netvlies wordt teweeggebracht; diensgevolge zou er geen wijziging in de localisatie mogen optreden, hetgeen echter wel het geval is.

Zoo blijft slechts over de theorie der indirect-sensorische functie der oogspieren, welke Tschermak ¹¹⁰) in 1902 ontwikkelde. Wij ontleenen uit zijn publicatie het volgende:

„Die Medianempfindung ist meines Erachtens sowohl beim normal Binocularsehenden wie beim Schielenden nicht etwa associirt mit der Wahrnehmung einer bestimmten Augenstellung, z.B. der symmetrischen Convergenz, mit einem bestimmten Stellungsbe-

*) Ik volg den wenk op van Prof. J. van der Hoeve (Ned. T. v. Gen. Maart 1941 blz. 844) om in plaats van een slecht Nederlandsch woord liever den oorspronkelijken in de vreemde taal gebezigden term te gebruiken.

wusstsein; solche hypothetischen Elemente lassen sich nämlich durch keine Analyse unserer Empfindungen aufweisen — ganz abgesehen von den bedenklichen Consequenzen, zu denen eine solche allgemeine These führt. Vielmehr erscheint auf Grund einer zunächst unaufgeklärten Einrichtung mit einer bestimmten Vertheilungsweise der Contraction auf die Augenmuskeln, so zu sagen mit einem bestimmten objectiven Spannungsbilde die Medianqualität eines optischen Eindruckes (das „Geradevorne“) verknüpft. Diese Verknüpfung der Contractionsvertheilung oder des objectiven Spannungsbildes mit einer absoluten Localisationsempfindung, also hier mit der Medianempfindung, wird wohl dadurch bewerkstelligt, dass die Muskelspannungen sog. sensible Erregungen (nicht Empfindungen!) bedingen, und dass deren unbewusster Complex jene relative einfache Empfindung als seinen psychischen Endeffect hervorruft. Es wird nicht jenes objective Bild wahrgenommen, seine einzelnen Componenten bezw. die dadurch ausgelösten sog. sensiblen Erregungen besitzen keine einzelnen Bewusstseinscorrelate. Für das Ingeltreten und Deutlichwerden jener Verknüpfung zwischen Augenstellung (Spannungsbild) und Medianempfindung ist das Bestehen eines optischen Eindruckes, eines eben gerade vorne erscheinenden Sehdinges die Vorbedingung — sei es ein exogener Eindruck oder ein Nachbild. — Eine solche Auffassung ist durchaus verschieden von den meines Erachtens unhaltbaren Hypothesen von sog. Innervationsempfindungen oder von unmittelbaren Muskelspannungsempfindungen, vom sog. Stellungsbewusstsein.“

Als een bezwaar tegen deze ingenieus uitgedachte theorie zouden wij willen aanvoeren, dat zij nochtans min of meer vaag is. Dit heeft Tschermak klaarblijkelijk ook zelf gevoeld, waar hij in *Bethe's Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie* (1931) schrijft: „Gewiss bedarf die Tschermaksche Theorie einer indirect-sensorischen Funktion der Augenmuskeln als eines wesentlich mitbestimmenden Faktors der egozentrischen Lokalisation noch sehr der Prüfung und des Ausbaues. Immerhin dürfte damit wenigstens eine brauchbare und fruchtbare Arbeitshypothese gewonnen sein.“

Wanneer wij den draad van ons betoog weer opvatten, dan herinneren wij ons de mogelijkheid gezien te hebben van het bestaan eener eenvoudige betrekking tusschen de mate, waarin de

wegdraaiing wordt waargenomen eenerzijds en de miswijzing met den arm anderzijds. Wij bedenken daarbij, dat wij tot dusver slechts verschijnselen ontleeden, welke zich bij proef A voordeden. De theorie van Tschermak verklaart deze voldoende. Wanneer wij er nu evenwel toe overgaan ook proef B in onze beschouwingen te betrekken, zoo zien wij ons voor nieuwe moeilijkheden geplaatst. De uitkomsten van deze proef geven een aanwijzing in welke richting de theorie van Tschermak nog zou moeten worden uitgebreid. Tschermak zelf geeft reeds aan, dat het vestibulairorgaan de subjectieve hoofdvlakken beïnvloedt: „Von besonderem Interesse ist die Einflussnahme des Labyrinths speziell auf die optische Mediane bzw. auf die Mediane des Fühlbildes überhaupt. Gerade hier kommt wohl in erster Linie eine Wirkung auf die Spannungsverteilung an den Augenmuskeln in Betracht. Nebenbei sei bemerkt das ein Einfluss auf die haptische Mediane in Form des absoluten oder besser egozentrischen Zeigerversuches sichergestellt ist (Fischer und Wodak).”

M. H. Fischer en Wodak vonden bovendien evenals reeds eenige andere onderzoekers voor hen, dat oogbewegingen invloed hebben op de haptische (subjectieve) hoofdvlakken, speciaal het haptische (subjectieve) mediane vlak, hetgeen zij door middel van vingerwijsproeven onderzochten. Ook onze proef B leidt tot deze conclusie.

De analyse van de proeven A en B leert ons, dat van de localisatietheorieën de theorie van Tschermak de meest aanvaardbare is, doch dat deze laatste in zooverre onvolledig is, dat zij geen of te weinig invloed toekent aan het vestibulairorgaan. De onderzoekingen van Fischer en Wodak, ten deele voortbouwende op het werk van Aubert en Delage, toonen aan, dat er een wisselwerking tusschen het gezichtszintuig en het evenwichtszintuig bestaat. Aan de hand van meer uitgebreide proeven zou deze relatie nader bestudeerd moeten worden om de vraag te beantwoorden of er slechts een wisselwerking, een wederzijdsche reguleerende functie, een overwegen van één van beide organen bestaat, of wel dat de samenwerking te beschouwen is als een functie van een dubbelzintuig met nieuwe potenties, en wel speciaal voor den ruimtezin.

Echter geheel afgezien van de mogelijkheid en onafhankelijk

van de eventueele uitkomsten van een experimenteele uitwerking, hebben wij ons de vraag gesteld of niet langs theoretischen weg alleen reeds een nadere betrekking tusschen beide zintuigen zou zijn te vinden.

De ruimte, waarin wij leven, doet zich aan ons tridimensionaal voor. Een orgaan, hetwelk prikkels uit deze tridimensionale ruimte in drie dimensies op gelijke, dus symmetrische wijze verwerkt, zal ons omtrent deze ruimte beter inlichten dan een orgaan, dat dit slechts voor twee dimensies gelijkwaardig doet. Dit vormt de grondgedachte voor de achterliggende studie.

In dit licht gezien staat ons gezichtsorgaan bij het evenwichtsorgaan ten achter, hetgeen duidelijk wordt, wanneer men den bouw en de ligging van beide organen nader beschouwt.

In ons oog wordt de ons omgevende ruimte niet ruimtelijk afgebeeld, doch geprojecteerd op het netvlies, dus op een vlak *). Om nu toch tot een ruimtewaarneming te komen, worden er twee verschillende projecties samengevoegd door de indrukken op beide netvliesen te combineeren. De verdubbeling van den indruk op zich zelf is niet van belang, men verkrijgt immers geen dieptezien door twee identieke netvliesbeelden op te wekken. Het verschil der indrukken is datgene, dat tot de derde, niet primair afgebeelde dimensie doet besluiten. Hier is dan tevens een tweede onvolkomenheid uit af te lezen. Daar men slechts over twee oogbollen beschikt, welke horizontaal naast elkander in den schedel zijn geplaatst, kunnen er alleen verschillen in horizontale afmetingen worden vastgelegd. Dit beteekent, dat van horizontale lijnen, draden, contouren etc., van welke elk onderdeel, elk punt onderling gelijk is en voor elkaar kan inspringen en aangezien worden, geen dieptewaarneming mogelijk is, zooals inderdaad Meyer ⁶¹⁾ het eerst met zijn draadproef heeft aangetoond.

Dat dwarsdisparatie dieptezien teweegbrengt is genoegzaam bewezen en bekend. Van lengtedisparatie wordt nog veelal hetzelfde, zij het in mindere mate aannemelijk geacht **). Dit nu is geenszins het geval; men bedenke slechts, dat lengteverschillen, verschillen

*) Het is hierbij van geen beteekenis of men zich het netvlies als een meetkundig vlak of als een deel van een hol holoppervlak voorstelt.

***) Dit is waarschijnlijk speciaal door een opmerking van Helmholtz (Physiol. Optik 1e dr. blz. 656) in de litteratuur gebleven.

zijn in een meridiaan, die opgenomen is in het vlak van symmetrie van beide oogen: het objectieve mediane vlak. Het moet als er al eenige lengtedisparatie zal bestaan onder bepaalde omstandigheden, voor de juiste dieptewaarneming geheel om het even zijn of een punt der ruimte op het rechter netvlies hooger dan op het linker netvlies, dan wel juist andersom wordt afgebeeld. Wanneer er namelijk eenige voorkeur zou bestaan, zou er dus geen zuivere symmetrie ten opzichte van het mediane vlak heerschen. Wij moeten dientengevolge ter wille van de symmetrie aannemen, dat positieve of negatieve lengtedisparatie — dat is naar gelang de afbeelding op het rechter netvlies hooger of lager dan op het linker netvlies komt te liggen — geheel gelijkwaardig zijn. Dit zou voor wat de dwarsdisparatie betreft overeenkomen met de gelijkwaardigheid van ongekruste en gekruiste dwarsdisparatie, of wel het wegvallen van het verschil tusschen localisatie achter of vóór de kernvlakte. Wij weten door de onderzoekingen van Wheatstone¹¹⁹), dat omkeering van de normale dwarsdisparatie de stereoscopie in pseudoscopie verandert, dat is een vorm van dieptezien met inversie van de dieptegewaarwording, waardoor bij voorbeeld bolle lichamen zich als holle voordoen. Aangezien wij voor de lengtedisparatie a priori een dergelijk verschil tusschen positiviteit en negativiteit moeten uitsluiten, kunnen wij haar in beteekenis voor de dieptewaarneming, zoo zij die al mocht bezitten, in ieder geval niet gelijk achten met de dwarsdisparatie.

Er blijft dan over dat de lengtedisparatie op zich zelf, ongeacht of zij positief of negatief is, eenige beteekenis zou kunnen hebben. Dit is onder physiologische omstandigheden niet voldoende te onderzoeken, om den zeer eenvoudigen reden, dat er zich geen lengtedisparatie voordoet, welke in verhouding tot de dwarsdisparatie eenigermate gelijk van groote is.

Met behulp van een haploscoop willen wij het zien met lengtedisparatie bestudeeren, waardoor het vermogen om lengtedisparatie te verwerken kwalitatief en quantitatief is te meten.

Door middel van een prismacombinatie, welke de oogen als het ware in het midden van den schedel boven elkander plaatst, is een lengtedisparatie op te wekken, welke voor alle punten in de ruimte bij primairen oogstand even groot is als in normale omstandigheden de dwarsdisparatie voor die punten bij primairen

oogstand. Op deze wijze willen wij trachten een dwarshoropter te bepalen op geheel analoge wijze als een lengtehoropter wordt gevonden. Een aldus gevonden dwarshoropter zou het bestaan der potentie van het gezichtsorgaan bewijzen ruimtelijk ook horizontale contouren op diepte te kunnen waardeeren, wanneer de oogbollen slechts voldoende bewogen konden worden, dat wil zeggen een dusdanigen stand in het hoofd innemen, dat bij blikrichting rechtuit lengtedisparatie optreedt.

Men kan de tekortkoming van het gezichtorgaan, welke wij hier boven aanduiden, zoeken in de periphere deelen alleen, of in het geheele orgaan, dus mede in de centrale deelen. Indien het vermogen wordt gevonden van een ongeveer gelijkwaardige ontleding van horizontale en verticale ruimteelementen bij andere plaatsing der oogen in den schedel, zoo vereenvoudigt dit het probleem in zekeren zin. In dit geval kan men de fout toeschrijven aan het ontvangapparaat voor lichtprikkels in engeren zin, zijnde de twee oogbollen.

Tenslotte moeten wij den bouw van het evenwichtszintuig beschouwen. Ondanks de anatomische symmetrie ten opzichte van een vlak, en wel het mediane vlak is de rangschikking der onderling loodrecht staande booggangen zóó gekozen, dat steeds twee gangen parallel staan en dus gelijktijdig geprikkeld worden, evenwel zóódanig, dat de lymfestrroom aan één zijde ampullipetaal, aan de andere zijde ampullifugaal gericht is. Hierdoor ontstaat functioneel gezien een alzijdige symmetrie, hetgeen voor een orgaan, dat ingeschakeld is in het ruimtepercipiërende systeem van fundamentele beteekenis is.

In het tweede hoofdstuk wil ik eenige algemeene beschouwingen geven over de geometrische verhoudingen in de objectieve gezichtsruimte in verband met de plaats van de oogen in den schedel; vervolgens het verband leggen tusschen de plaats van het voorwerp in de objectieve ruimte en de afbeelding op het netvlies. Daarna dienen de voorwaarden geanalyseerd, onder welke zich dwarsdisparatie en lengtedisparatie voordoen. Tenslotte wil ik in dit hoofdstuk theoretisch de beteekenis der lengtedisparatie ontleden.

Het derde hoofdstuk bevat een critisch overzicht van de in de

litteratuur voorkomende experimenteele studies, welke betrekking hebben op het voorkomen van lengtedisparatie.

Het vierde hoofdstuk beschrijft mijn eigen experimenten, welke ik op grond van boven gegeven overwegingen en volgens aldaar genoemde richtlijnen instelde.

In het vijfde hoofdstuk tenslotte stel ik mij voor de conclusies van dit eigen onderzoek nader uit te werken en hier tevens de theorie van Quix ⁷⁸⁾ over de physiologische ruimtevoorstelling, welke mede een aanleiding tot deze studie vormde, in mijn beschouwingen te betrekken.

HOOFDSTUK II

OVER DE VERHOUDING VAN HET DUBBELOOG TOT DE OBJECTIEVE GEZICHTSRUIMTE. THEORETISCHE BESCHOUWINGEN.

§ 1. *De geometrische verhoudingen in de objectieve gezichtsruimte in verband met de plaats van de oogen in den schedel.*

Hering ⁴²⁾ leert ons het gezichtszintuig als volgt te omschrijven: Ons gezichtsorgaan bestaat uit beide oogen, de gezichtszenuwen en die deelen der hersenen, welke een aandeel hebben in het tot stand komen van gewaarwordingen, waarnemingen en voorstellingen, die behooren tot het gebied van den gezichtszin. Wij noemen dit orgaan in zijn geheel het dubbelloog *).

Beschouwen wij allereerst de anatomie van het orgaan, dan treft ons de symmetrie en wel de symmetrie ten opzichte van het sagittale vlak van den schedel of zooals men gewoon is in physiologisch-optische beschouwingen te spreken van het objectieve mediane vlak van het hoofd. Ontegenzeggelijk komen er min of meer duidelijke verschillen voor tusschen het linker en het rechter oog, de linker en rechter oogzenuw, tusschen beide helften van de hooger gelegen banen. Wij behoeven slechts te denken aan de uitgesproken gevallen van anisotropie, waar zoowel in anatomischen als zin-

*) „Unser Sehorgan besteht aus den beiden Augen, den Sehnerven und denjenigen Hirntheilen, welche am Zustandekommen der in das Bereich des Gesichtssinnes gehörenden Empfindungen, Wahrnehmungen und Vorstellungen mit betheiligt sind. Wir nennen dies gesammte Organ das Doppelauge.“ (blz. 348, Hermann Handbuch der Physiologie).

Sinds Köhler is het gebruikelijk te spreken over de „optische Sektor“, welke moderne term in wezen niet meer inhoudt dan dat, wat Hering onder „das Doppelauge“ heeft verstaan. Gelb en Goldstein ³⁵⁾ spreken van „Schsphäre“, welk begrip niet geheel parallel gaat aan de door Köhler ingevoerde uitdrukking.

tuigfysiologischen zin van gelijkheid geen sprake meer is. Voor een algemeene bespreking lijkt het echter wenschelijk uit te gaan van de normale verhoudingen, waarbij wij een groote of wel algeheele evenredigheid aannemen in bouw en functie tusschen de helften van het dubbeloog *). Wij zien dan, dat het gezichtsorgaan in aanleg een symmetrie verkrijgt en deze in zijn ontwikkeling behoudt. Denken wij ons het vlak van symmetrie in de ruimte rondom ons uitgebreid, dan kunnen wij elk punt dezer ruimte bepalen ten

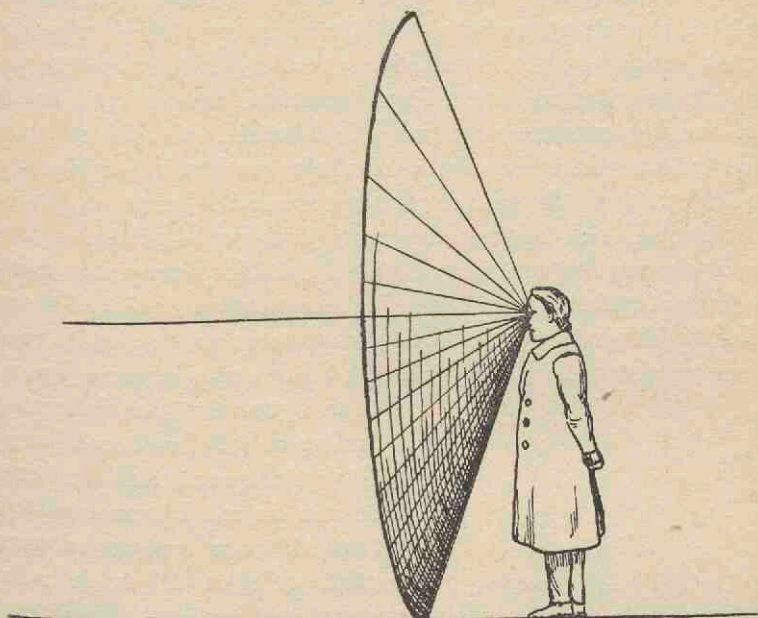


Fig. 3.

opzichte van dit vlak door den afstand tusschen punt en vlak vast te stellen. Deze afstand wordt uitgedrukt door de loodlijn uit het punt op het vlak. Wij gaan uit van een symmetrische, opgerichte lichaamshouding, „Primärstellung” volgens Hering. Hierbij valt het objectieve mediane vlak van het hoofd samen met het gelijknamige vlak van den romp. Beide bevatten onder de gegeven omstandigheden de absolute verticale, anders uitgedrukt, beide vlakken en dus ook het eerder genoemde uitgebreide vlak van symmetrie staan

*) Het bestaan van een „mastereye” laten wij hier buiten beschouwing.

verticaal. De loodlijn van elk willekeurig punt buiten dit vlak op dit vlak neergelaten staat dientengevolge horizontaal. Bewegingen van dit punt zoodanig, dat de afstand tot het symmetrievlak ongewijzigd blijft, kunnen worden ontleed in twee componenten, te weten een verticale en een van den beschouwer af gerekend voor-achterwaartsche. Deze laatste willen wij even voorbijgaan en ons eerst uitsluitend bepalen tot den verticalen component.

Het is dan aanstonds duidelijk, dat een punt buiten het symmetrievlak gelegen en zich bewegende in verticalen zin steeds ten opzichte van de oogen van den beschouwer zijn asymmetrische ligging bewaart, zij het ook, dat bij groote verwijdering deze asymmetrie in beteekenis afneemt. Gaan wij uit van een objectief horizontale, aan het mediane vlak parallele blikrichting, dan kan een punt in de ruimte niet onbeperkt in verticalen zin worden verplaatst, wil een lichtstraal van dat punt uitgaande ons netvlies bereiken. Dit punt moet zoowel zich bewegende omhoog als omlaag daartoe binnen een kegelmantel blijven, waarvan de top in het knooppunt van het imaginaire cyclopenoog is gelegen en waarvan de halve tophoek $\pm 70^\circ$ bedraagt. Het cyclopenoog wordt tusschen de oogen op den halven pupilafstand op gelijke hoogte als de oogen gedacht (figuur 3).

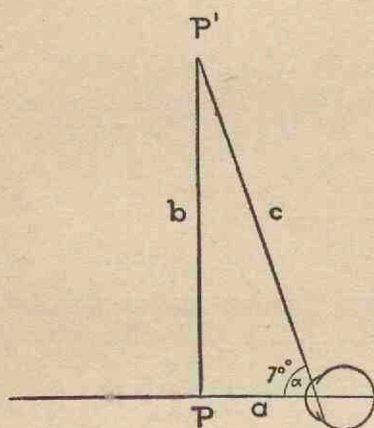


Fig. 4.

In figuur 4 zij het vlak van tekening objectief verticaal, het punt P op eindigen afstand van het oog in een objectief horizontaal vlak, hetwelk door ons oogknooppunt gaat, gelegen. P' is de uiterste stand van het punt, waarheen het zich in verticale richting kan verplaatsen, wil het binnen den kegelmantel, waarvan c een doorsnede is, blijven. Uit de figuur is de volgende betrekking af te leiden:

$$c = \frac{a}{\cos \alpha}$$

$\cos \alpha = \cos 70^\circ = \frac{1}{2.934}$ of ten naaste bij $\frac{1}{3}$. Wij kunnen dus schrijven

$$c = 3a.$$

Laten wij in figuur 5 het asymmetrisch gelegen punt P zoodanig naar links verschuiven, dat zijn afstand tot het vlak van symmetrie, in de figuur voorgesteld door s , ongewijzigd blijft, dan blijkt aanstonds, dat de beteekenis der asymmetrie ten opzichte van de oogbollen afneemt. Indien het punt P namelijk oneindig ver wordt verplaatst, kan het beschouwd worden als te liggen in het vlak s en is er dus van asymmetrie geen sprake meer. De mate van asymmetrie wordt bepaald door de verhouding van den afstand van het punt P tot het vlak van symmetrie eenerzijds tot den afstand van datzelfde punt P tot de verbindingslijn (of haar verlengde) tusschen de knooppunten van beide oogen anderzijds. Wij willen deze verhouding gemakshalve *het asymmetrisch quotiënt* noemen. Dit quotiënt wordt dus nul, indien P in het oneindige komt te liggen.

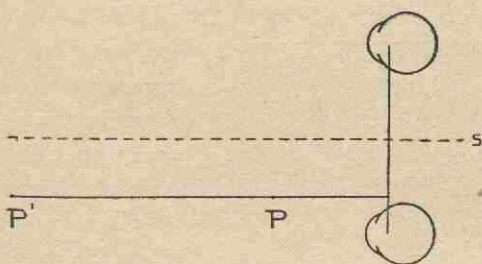


Fig. 5.

Keeren wij nu terug tot figuur 4. Wij zien dan, dat bij verticale verplaatsing van het punt P het asymmetrisch quotiënt in het uiterste geval slechts tot een derde van de uitgangswaarde vermindert, hetgeen beteekent, dat verplaatsingen van 10° — 20° een bijna te verwaarloozen invloed op het quotiënt hebben. Wij komen hierop later terug.

Een punt in het symmetrievlak gelegen behoudt zijn symmetrie ten opzichte van de oogen, wanneer het zich in verticalen zin verplaatst, omdat het immers het vlak niet verlaat.

Uit het voorgaande kan men besluiten, dat een verticale verplaatsing van een punt in de objectieve ruimte binnen het gebied, van waaruit lichtstralen onze netvliezen kunnen bereiken, geen of een zeer geringen invloed heeft op de al of niet bestaande symmetrie van zijn ligging ten opzichte van onze oogen.

Anders is het met een horizontale beweging van deze punten, welke steeds samengaat met een toeneming of afnemning — in bijzondere gevallen van optreden of verdwijnen — van de asymmetrie der ligging ten opzichte van de oogen, hetgeen tot uitdrukking komt in de beweging van het punt P langs PP' in figuur 6. In P' is de grens van het binoculaire gezichtsveld bereikt. Het asymmetrisch quotiënt is hier maximaal, zijnde de tangens van 60° of wel ongeveer $1\frac{3}{4}$.

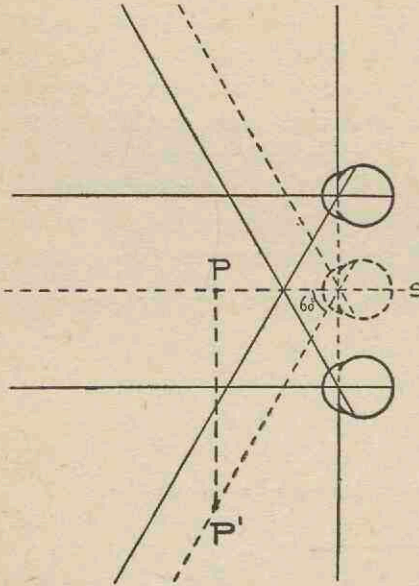


Fig. 6.

Wij willen vervolgens den invloed op de asymmetrie van een voorachterwaartsche verschuiving van punten onderzoeken aan de hand van de figuren 7 en 8.

Gaan wij weer uit van dezelfde positie der oogen als afgebeeld in figuur 5 en

denken wij ons op eindigen afstand voor de oogen een objectief verticaal vlak v loodrecht op het vlak van symmetrie s. Het vlak van teekening is het objectief horizontale vlak door de knooppunten der oogen aangebracht („primäre Blickebene“ volgens Hering *)). Het vlak v bevat drie punten, waarvan de projectiepunten op het vlak van teekening P', Q' en R' zijn (fig. 7).

In fig. 8 is het vlak van teekening het objectief verticale vlak door de knoop-

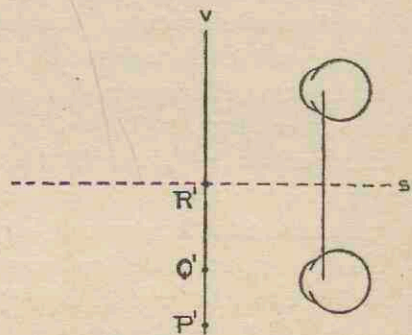


Fig. 7.

*) Hering construeerde de primaire vlakken door de draaipunten der oogen.

punten van beide oogbollen opgericht („Frontalebene“ volgens Hering *) , s de snijlijn van dit vlak met het mediane vlak (vlak van symmetrie), h de snijlijn met het objectief horizontale vlak (vlak van teekening uit figuur 7). P'' , Q'' en R'' zijn de projectiepunten van de punten P , Q en R , welke in het vlak v liggen (figuur 7). Het punt O stelt behalve het midden tusschen beide knooppunten gelegen punt van symmetrie in het vlak van teekening, ook voor, het oneindig ver achter het vlak van teekening gelegen punt van de loodlijn in O neergelaten. Deze loodlijn is de snijlijn van het objectief horizontale vlak h met het vlak van symmetrie s (primaire bliklijn van het cycloopenoog).

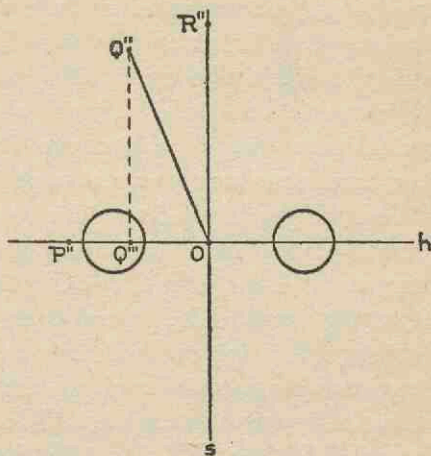


Fig. 8.

Wanneer wij nu het vlak v zoodanig verwijderen van de oogbollen, dat het steeds zijn stand ten opzichte van de vlakken s en h bewaart en tevens de projectie (O_v) van de zoo juist genoemde loodlijn op dit vlak niet verschuift **), dan smelten de punten P , Q en R tot O_∞ samen, indien het vlak tot in het oneindige wordt verplaatst.

Ter vereenvoudiging der opstelling denken wij bij den aanvang van deze beweging het vlak v samengevallen met het objectief verticale vlak van teekening in figuur 8, waardoor P'' , Q'' en R'' vervangen kunnen worden door P , Q en R .

Alvorens figuur 8 voor de verdere analyse te gebruiken, moeten wij eerst haar aanwending rechtvaardigen. Figuur 8 is door het gestelde een perspectiefteekening geworden. Perspectief is echter iets, hetgeen niet zonder meer in de objectieve ruimte, over welke

*) Hering construeerde de primaire vlakken door de draaipunten der oogen.

**) Men kan zich deze beweging het eenvoudigst voorstellen als die van een doorboord stuk carton langs een gespannen draad.

wij tot nu toe steeds spraken, is te vinden. Wanneer echter de objectieve ruimte in betrekking tot de oogen van een proefpersoon door een derden persoon wordt waargenomen, worden de elementen dezer ruimte in hun verhouding tot de oogen van dezen proefpersoon opgenomen in de subjectieve ruimte van dien derden persoon, wanneer deze er zich een voorstelling van maakt. Daar dit evenwel geldt voor elke geometrisch wetmatige afbeelding der objectieve ruimte, is dit bij figuur 8 geen uitzonderingsgeval. Men verlaat dus niet de objectieve ruimte ook al beeldt men haar met hare elementen perspectivisch af.

Terugkeerende tot figuur 8 zien wij, dat bij de gestelde verschuiving van het vlak v naar het oneindige de punten P , Q en R respectievelijk langs PO_{∞} , QO_{∞} , en RO_{∞} tot O_{∞} naderen. De beweging langs RO_{∞} brengt geen verandering in de symmetrie der ligging, zooals wij reeds eerder zagen. De beweging langs PO_{∞} beteekent een verminderen en tenslotte verdwijnen van de asymmetrie. De verplaatsing langs QO_{∞} kan men ontleden in de componenten QQ''' en $Q'''O_{\infty}$. Uit het eerder geschrevene blijkt voldoende, dat slechts $Q'''O_{\infty}$ van beslissenden invloed is op de al of niet symmetrische ligging van het punt Q ten opzichte van de oogen.

Samenvattend mogen wij dus zeggen: *Mocht de asymmetrische ligging van een punt der objectieve ruimte ten opzichte van beide oogen als zoodanig eenige beteekenis hebben, zoo is slechts de horizontale plaatsbepaling van dat punt ten opzichte van het objectieve mediane vlak van invloed.*

§ 2. Het verband tusschen de plaats van het voorwerp in de objectieve ruimte en de afbeelding op het netvlies.

Of inderdaad deze asymmetrische ligging van eenig belang is bij het ruimtelijk zien is in het bovenstaande met opzet niet nader uitgewerkt, aangezien wij ons allereerst wilden bezighouden met geometrische verhoudingen in de objectieve ruimte, zonder rekening te houden met het feit, dat de elementen dezer ruimte door onze oogen, of althans door tusschenschakeling van onze oogen „gezien” worden. Daarom werd ook van voor-achterwaartsche richting gesproken, hetgeen men, zich bepalende tot de physiologie van het zien in engeren zin, kan vervangen door primaire blikrichting. Het

begrip asymmetrisch quotiënt is in dit kader nader te omschrijven als tangens van den hoek gevormd tusschen den lichtstraal komende van het betrokken punt in de objectieve ruimte eenerzijds en de projectie van dezen straal op het vlak van symmetrie, zijnde tevens de „Längsmittelschnitt” van het cyclopenoog, anderzijds. Daar dit voornamelijk kleine hoeken betreft, maakt men geen groote fout met deze tangens door den hoek zelf te vervangen. Figuur 9 licht dit toe.

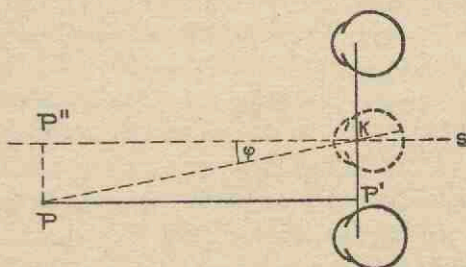


Fig. 9.

Asymmetrisch quotiënt van P is $\frac{KP'}{PP'} = \frac{PP''}{P''K} = \text{tg } \varphi$.

Aangezien de hoek φ steeds in een vlak ligt, hetwelk loodrecht staat op het vlak van symmetrie of wel objectief mediane vlak of wel „Längsmittelschnitt” van het cyclopenoog, is de hoek φ op zijn beurt bepaald door de breedte waarde van het punt op het netvlies van het cyclopenoog, gevormd door het verlengde van PK. In figuur 10 is dus de hoek φ voor het punt A bepaald door het feit, dat dit punt op den „Längsmittelschnitt” ligt (en is dus $= 0^\circ$), voor de punten B, C en D respectievelijk door b, c en d.

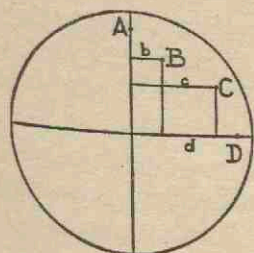


Fig. 10.

Wij moeten de verdeling van het netvlies, zooals Hering ons deze heeft gegeven, in „Längsschnitte” en „Querschnitte” bekend veronderstellen, evenals de plaatsbepaling van een willekeurig punt op het netvlies respectievelijk ten opzichte van de „mittleren Querschnitt”, („Netzauthorizont” volgens Helmholtz), en de „mittleren Längsschnitt”, („scheinbar verticalen Meridian” volgens Helmholtz) in lengte en breedte.

Een lichaam — dus een deel van de objectieve ruimte, hetwelk

door afmetingen in drie demensies is bepaald — wordt in het oog niet ruimtelijk afgebeeld, maar als vlak op het netvlies geprojecteerd. Het is hierbij niet van belang of men zich het netvlies als plat vlak of als deel van een bol voorstelt. De geleiding van beide netvliesindrukken naar de achterste schedelgroeve, de uitwerking en uitlegging hiervan elders in de hersenen leidt tot een voorstelling van de ruimte om ons, die als zoodanig door de oogen ieder afzonderlijk, als optisch instrument beschouwd, niet wordt vastgelegd. De dieptegewaarwording omtrent de ons omringende objecten is een product van de samenwerking beider oogen. De hoogte- en breedtegewaarwording kan men zich ook eenvoudiger denken. Zij worden als het ware reeds in goede onderlinge verhouding van het netvlies „afgelezen”, wanneer wij deze uitdrukking, die al heel weinig overeenkomt met de physiologie van het zien, tenminste mogen gebruiken. Wij willen hiermede slechts uitdrukken, dat de dieptegewaarwording, afgezien van de vraag of deze bewust of onbewust tot stand komt, of zij uit een aangeboren vermogen dan wel uit ervaring voortkomt, van een andere orde is dan de hoogte- en breedtegewaarwording. Zouden immers deze drie gelijkwaardig zijn, dan zou een lichaam ook in denzelfden vorm, dat wil zeggen tridimensionaal moeten worden afgebeeld. Daartoe zou ons oog geen lichtgevoelig netvlies, doch een lichtgevoelige massa, bij voorbeeld een lichtgevoelig glasvocht moeten bezitten. In dit geval zou één enkele oogbol in het midden van het gelaat geplaatst ons de mogelijkheid van ruimtelijke oriëntatie geven. Het behoeft geen toelichting, dat dit in anatomischen en physiologischen zin een onmogelijkheid vormt. Het is slechts een theoretische overweging om ons de uitzonderlijke plaats van de dieptegewaarwording beter voor oogen te stellen.

Houden wij ons dus eerst bezig met de afbeelding op het netvlies, zoo ontmoeten wij slechts lengte- en breedtewaarden. Wij hebben gezien, dat de hoek φ bepaald werd door de breedtewaarde op het netvlies van het cyclopenoog. Omgekeerd vertegenwoordigt dus deze breedtewaarde een bepaalde hoek φ . Een hoekwaarde kan echter slechts een richtingslocalisatie beduiden. Voor het cyclopenoog zou dus een punt nog onbepaald zijn in afstand tot den waarnemer, wanneer slechts het asymmetrisch quotiënt ($= \angle \varphi$) werkzaam was. Wij moeten ons echter steeds bewust zijn, dat men,

hoewel men van het cyclopenoog uit localiseert, steeds de prikkels op beide natuurlijke netvliezen ontvangt.

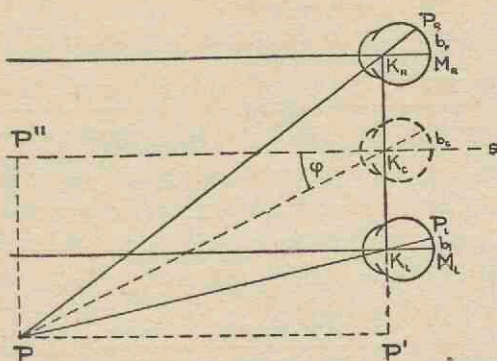


Fig. 11.

Lichtstralen uit het punt P (figuur 11) prikkelen respectievelijk P_R op het rechter netvlies, overeenkomende met de breedte-waarde b_r , en P_L op het linker netvlies, overeenkomende met de breedte-waarde b_l . Het verschil in breedte-waarde noemt men volgens Fechner *) de dwarsdisparatie. Verschil in lengte-waarde wordt overeenkomstig lengtedisparatie genoemd. De dwarsdisparatie kunnen wij in grootte nader omschrijven door haar verhouding tot den constanten afstand van het knooppunt tot het optisch centrum van het netvlies te bepalen.

In figuur 11 vinden wij het volgende, wanneer wij $P_R M_R$ en $P_L M_L$ recht beschouwen:

$$\triangle K_R P_R M_R \sim \triangle P K_R P' \text{ en } \triangle K_L P_L M_L \sim \triangle P K_L P'$$

Daar de kleine $\triangle\triangle$ de basis en één der basishoeken gelijk hebben, de groote $\triangle\triangle$ de basis en den overeenkomstigen basishoek

*) Fechner *) heeft in 1861 de begrippen differentie en disparatie ingevoerd. Hij spreekt van differente punten, wanneer het punten op één netvlies betreft, van disparate punten, wanneer deze elk op een ander netvlies liggen en niet corresponderende punten zijn.

gemeen hebben, verhoudt zich het verschil der zijden, welke in de kleine $\triangle\triangle$ met de basis den gelijken hoek insluiten, tot de gelijke basis, als het verschil der overeenkomstige zijden van de groote $\triangle\triangle$ tot de gemeenschappelijke basis.

Men kan dus de volgende betrekking afleiden :

$$\frac{\text{dwarsdisparatie}}{\text{afstand knooppunt} - \text{optisch centrum}} = \frac{\text{pupilafstand}}{\text{afstand voorwerpspunt} - \text{frontaalvlak}}$$

In deze vergelijking is de afstand knooppunt — optisch centrum evenals de pupilafstand constant. Veranderlijk is slechts de afstand voorwerpspunt-frontaalvlak. Hieruit zien wij, dat de dwarsdisparatie omgekeerd evenredig is met dezen afstand.

De verhouding $\frac{\text{pupilafstand}}{\text{afstand voorwerpspunt-frontaalvlak}}$ stelt Thorner¹⁰⁶⁾

gelijk aan het door hem ingevoerde begrip *stereoscopisch quotiënt*, welke uitdrukking wij overnemen. Voor elk punt der objectieve ruimte onderscheiden wij dus een *asymmetrisch quotiënt* en een *stereoscopisch quotiënt*.

Met een bepaald asymmetrisch quotiënt is een element gegeven, hetwelk leidt tot een richtingslocalisatie in de subjectieve ruimte; het kan omtrent afstand echter geen gegeven verstrekken. Een ster aan den hemel en een punt op 1 M afstand van ons kunnen hetzelfde asymmetrische quotiënt hebben. Een bepaald stereoscopisch quotiënt levert een element, dat in de subjectieve ruimte tot dieptelocalisatie zonder richting voert.

Dwarsdisparatie noemt men, zooals reeds gezegd, het verschil in breedte waarde van beide, niet corresponderende punten, welke gelijktijdig door één punt der objectieve ruimte worden geprikkeld. Wij kunnen dit echter ook uitdrukken als een verschil in asymmetrische waarde, daar elke breedte waarde van een geprikkeld netvlieselement overeenkomt met een punt der objectieve ruimte met een zekere asymmetrische ligging — wij ontleden nog altoos de omstandigheden bij primairen stand der oogen. Er bestaat slechts één uitzondering voor punten gelegen in het objectieve mediane vlak. Deze prikkelen elementen op beide netvliesen, welke onderling weliswaar een dwarsdisparatie bezitten, die evenwel symmetrisch is verdeeld. Daar punten in het mediane vlak te zamen

altijd opnieuw een vlak vormen en nooit een lichaam, doet zich deze uitzonderlijke omstandigheid in werkelijkheid nagenoeg niet voor.

In de boven gevonden vergelijking zijn twee factoren voor de symmetrie niet belangrijk, daar zij grootheden zijn, welke parallel met het vlak van symmetrie liggen, te weten de afstand knooppunt — optisch centrum en de afstand voorwerpspunt-frontaalvlak. De derde factor, waarvan de dwarsdisparatie afhankelijk blijkt, is de pupilafstand; deze vormt de basis voor het door ons opgestelde systeem van symmetrie.

Wanneer wij een overeenkomstige betrekking zouden willen opstellen voor de lengtedisparatie, zoo zouden wij voor den pupilafstand geen analogon kunnen vinden. Evenmin kan men de lengtedisparatie uitdrukken in een verschil in asymmetrische waarde, hetgeen uit de tot nu gevoerde redeneering voldoende duidelijk volgt. Hierop komen wij later terug. Voorloopig kunnen wij reeds vaststellen, dat de lengtedisparatie een andere beteekenis dan de dwarsdisparatie moet bezitten.

De vorige paragraaf besloten wij met de samenvattende conclusie: Indien de asymmetrische ligging van een punt in de objectieve ruimte ten opzichte van beide oogen als zoodanig eenige beteekenis heeft, zoo is slechts de horizontale plaatsbepaling van dat punt ten opzichte van het objectieve mediane vlak van invloed. Deze stelling zouden wij nu verder willen uitbreiden: *Indien voor de dieptelocalisatie de dwarsdisparatie een grootere beteekenis heeft dan de lengtedisparatie, zoo is slechts de horizontale plaatsbepaling van het punt der objectieve ruimte, hetwelk de disparate punten prikkelt, ten opzichte van het objectieve mediane vlak van invloed.*

Er valt nu verder na te gaan, hoe de dwarsdisparatie en de lengtedisparatie zich in beteekenis verhouden.

§ 3. *Analyse der voorwaarden, onder welke zich dwarsdisparatie en lengtedisparatie voordoen.*

Richten wij bij primairen stand van oogen en hoofd onzen blik op den horizont, zoo vallen de beelden van dezen horizont, welke identiek zijn, op onze netvliezen op corresponderende punten. Bevindt zich tusschen het fixeerpunt op den horizont en ons cyclopenoog, liggende op de fixeerlijn van dit cyclopenoog, een object, dat

wij ons gemakshalve puntvormig denken, dan wordt dit op niet-correspondeerende punten afgebeeld, namelijk op het linker netvlies links, op het rechter netvlies rechts van het optisch centrum. De afbeelding vindt dus plaats zonder lengteverschil, maar met eenig breedteverschil.

Dezelfde redeneering kan men opzetten voor punten in het mediane vlak, boven of onder de fixeerlijn gelegen. Evenmin kan men voor eenig ander punt, dat zich in de ruimte tusschen den horizont en het cyclopenoog bevindt, een afbeelding op de netvliezen construeeren met lengtedisparatie, steeds nog aannemende, dat de oogen hun primairen stand bewaren. Op één uitzonderingsgeval komen wij later terug.

Terwijl men dus den horizont beziet, beeldt zich al het naderbij gelegene slechts met dwarsdisparatie af.

Wanneer men uit den primairen stand convergeert en accommodeert op een in de fixeerlijn naderbij gelegen punt, vallen de elementen van den horizont niet meer op correspondeerende punten, doch door de horizontale tegengestelde beweging der oogbollen op punten met wederom alleen dwarsdisparatie. Hetzelfde geldt voor een nog meer naderbij gelegen punt, dat tevoren met dwarsdisparatie werd afgebeeld en nu met verminderde dwarsdisparatie. Het verschil tusschen punten van den horizont en het laatst genoemde punt is, dat, zooals Hering aangeeft, de eerste met ongekruiste, het laatste met gekruiste dwarsdisparate afbeelding plaats vindt (volgens Tschermak respectievelijk nasaal-disparaat en temporaal-disparaat).

Bij oogbeweging naar omhoog en omlaag van uit den primairen stand komt voor wat de elementen van den horizont betreft noch lengte- noch dwarsdisparatie tot stand, en voor de naderbij gelegene punten vindt geen wijziging in de grootte der dwarsdisparatie plaats, terwijl ook geen lengtedisparatie optreedt. Hetzelfde geldt voor oogbewegingen in verticalen zin uit een horizontalen symmetrisch convergenten stand.

Ook zien wij geen lengtedisparatie verschijnen voor eenig punt der ruimte, wanneer de oogen uit den primairen stand horizontaal naar rechts of links worden gedraaid; evenmin wanneer zulks geschiedt uit symmetrisch convergenten horizontalen stand, dus wanneer de convergentie asymmetrisch wordt.

Voor zes oogstanden hebben wij dus gezien, dat diepteverschillen slechts door dwarsdisparatie tot uitdrukking kunnen komen. Wij willen den factor der draaiing der bulbi naar buiten om de sagittale assen bij blikbeweging van beneden naar boven veronachtzamen.

Het is hier de plaats om er op te wijzen, dat wij in deze beschouwingen ons niet moeten laten misleiden door schijnnaauwkeurigheden. Men heeft niet te maken met exact stereometrische lichamen, welker bouw aan mathematische wetten voldoet en welker bewegingen in geometrische vlakken zijn vast te leggen. Integendeel. De oogbollen zijn geen bollen in wiskundigen zin. De wetten der physiologische optiek zijn in meer dan een opzicht benaderingswetten. Het oog heeft geen eigenlijk draaipunt; een beweging laat zich daarom niet door één as nauwkeurig aangeven. Niettemin wordt dit zonder storende fouten te maken in een betoog over bewegingsphysiologie in het algemeen aangenomen *).

Helmholtz toonde aan, dat er een physiologische incongruentie van het netvlies bestaat; wanneer namelijk de „mittleren Querschnitte” in elkanders verlengde vallen (bij voorbeeld bij primairen oog- en hoofdstand) divergeeren bij de meeste menschen de „mittleren Längsschnitte” naar boven onder een hoek varierende tusschen 0° en 2° . Dit beteekent, dat met een normaal oog de subjectieve verticale onder een hoek van $\pm 89^\circ$ tot de subjectieve horizontale gesteld kan worden. Het gevolg hiervan is, dat bij primairen oog- en hoofdstand theoretisch wel degelijk een uiterst kleine lengtedisparatie kan bestaan voor punten, welke excentrisch zijn gelegen. Wanneer men namelijk een ruimte beziet, waarin verticale lijnen of contouren overheerschen, is men geneigd de oogbollen zoodanig te draaien, dat de „Längsschnitte” aan elkander parallel komen te liggen. Figuur 12 licht dit toe.

De door deze draaiing ontstane lengtedisparatie is maximaal aan de grens van het binoculaire gezichtsveld in den horizontalen meridiaan. Deze grens wordt bepaald door de kleinste uitbreiding van het monoculaire gezichtsveld in den horizontalen meridiaan zijnde 60° aan de nasale zijde. Het stereoscopische binoculaire ge-

*) Ook de kinematische Studien van Tschermak en Schubert⁹⁷⁻¹⁰⁰ bevestigen dit.

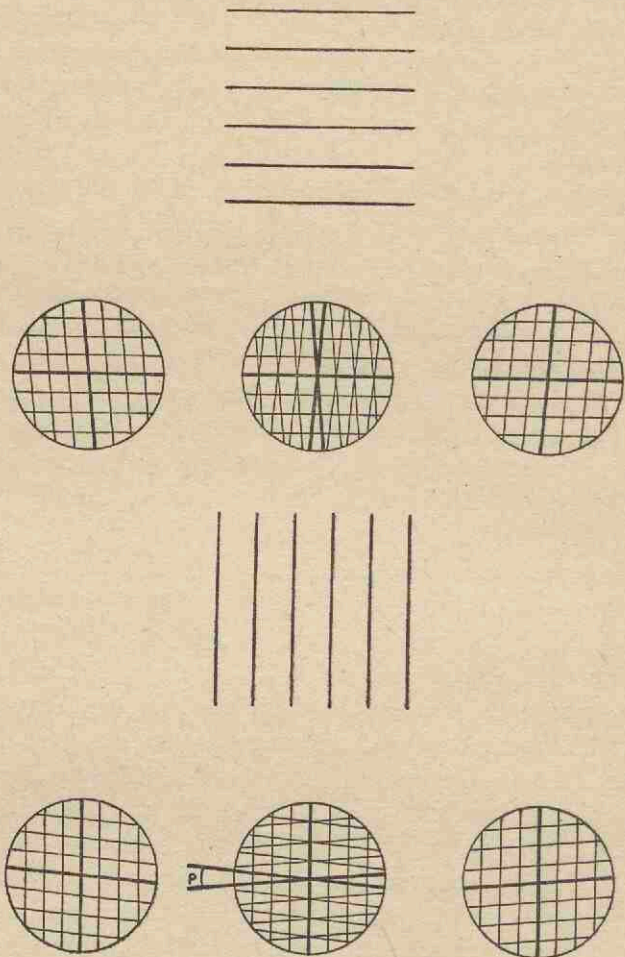


Fig. 12.

zichtsveld — te onderscheiden van het totale binoculaire gezichtsveld — breidt zich bij primairen stand dus tot 60° in de breedte uit. Gaan wij voor onze berekeningen uit van een gemiddelde physiologische incongruentie van 1° , dat wil zeggen, dat de „Längsschnitte” en „Querschnitte” een hoek van 89° vormen, zoo is voor elken oogbol een draaiing over 1° noodzakelijk om de „Längsschnitte” parallel te stellen. De hoek ϱ in figuur 12 bedraagt in dit geval dan 2° . De hoek, welke de maximale lengte-

disparatie in het cyclopenoog vormt is nog iets kleiner dan 2° *).

De gezichtsscherpte 60° van het optisch centrum is echter gering. Aubert en Förster²⁾ hebben uitvoerige onderzoeken verricht omtrent de periphere gezichtsscherpte. In de verschillende meridianen is zij op gelijken afstand van het optisch centrum zeer uiteenlopend. Als voorbeeld van hun resultaten vermelden wij het volgende: Bij de bepalingen op 200 mM van het oog verricht, werd gevonden als gemiddelde der metingen in de verschillende meridianen, dat op een afstand van 77 mM van het fixeerpunt twee punten (van 3,75 mM doorsnede) ruim 20 mM uiteen moesten liggen, wilden deze als twee gescheiden punten worden herkend. Rekent men deze gegevens om in graden, dan vindt men het volgende:

Twee punten ongeveer 21° buiten het fixeerpunt gelegen moeten

*) Dit blijkt uit onderstaande schematische figuur:

De draaiing van het oog vindt plaats in een vlak, hetwelk ook $\triangle AMB$ bevat. $\triangle AKB$ ligt in het vlak, waarin beide gezichtslijnen in het cyclopenoog verlopen. De genoemde $\triangle\triangle$ hebben de basis van een basishoek gemeen. De zijden AK en BK zijn langer dan de zijden AM en BM . De eerste sluiten dientengevolge een kleineren hoek in, q.e.d.

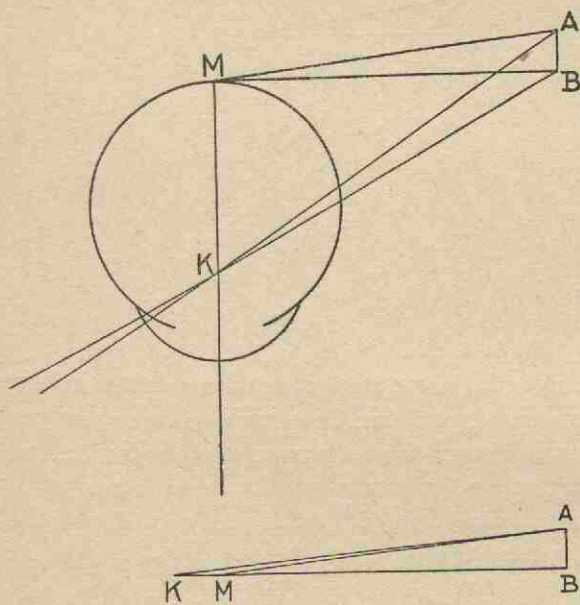


Fig. 12a.

ruim 5° van elkander zijn verwijderd, indien zij als twee afzonderlijke punten gezien kunnen worden.

Berekenen wij nu de lengtedisparatie door boven genoemde draaiing der bulbi ontstaan op 20° horizontaal van het fixeerpunt, zoo blijkt deze tusschen $38'$ en $39'$ te bedragen. De wijze van berekenen volgt voldoende duidelijk uit de constructie van de beide figuren (figuur 13).

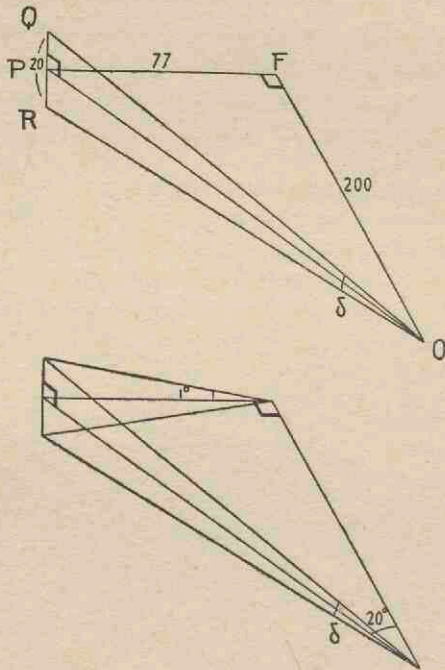


Fig. 13.

Het is eenvoudig in te zien, dat, wanneer twee differente punten op een gegeven afstand van het fixeerpunt gelegen en met ruim 5° onderlingen afstand juist als twee punten worden herkend, twee disparate punten op gelijken afstand van het fixeerpunt en onderling slechts minder dan $40'$ verwijderd niet door hun disparatie werkzaam kunnen zijn *).

*) Zie in dit verband ook de onderzoekingen van Mandelstamm ⁸⁶⁾, Schoeler ⁸⁹⁾ en Schön ⁹⁰⁾.

Met deze kleine uitweiding hebben wij de beteekenis van de physiologische incongruentie van het netvlies voor de lengtedisparatie te niet gedaan. Wij meenen in den vervolge dan ook al te groote nauwkeurigheden te mogen omzeilen voor zoover zij niet noodzakelijk zijn om ons inziens foutief aangevoerde argumenten voor het voorkomen van lengtedisparatie te weerleggen.

De combinatie van bewegingen naar links of rechts met beweging naar boven of beneden scheidt omstandigheden, waarbij lengtedisparatie optreedt. Dit laat zich het beste demonstreeren aan de hand eener afbeelding van een oogstand, welke weliswaar door de bulbi niet is in te nemen, doch in extremo toont, hetgeen in mindere mate zich in werkelijkheid voordoet. Wij denken ons de oogen over 45° naar beneden gedraaid en vervolgens over 90° naar links gewend, zooals in figuur 14 weergegeven. In deze situatie zij noch de orbitabegrenzing noch de neus een beletsel voor het waarnemen van lichtprikkels. In de figuur is de doorsnede van beide oogen dus tevens de „Längsmittellinie”.

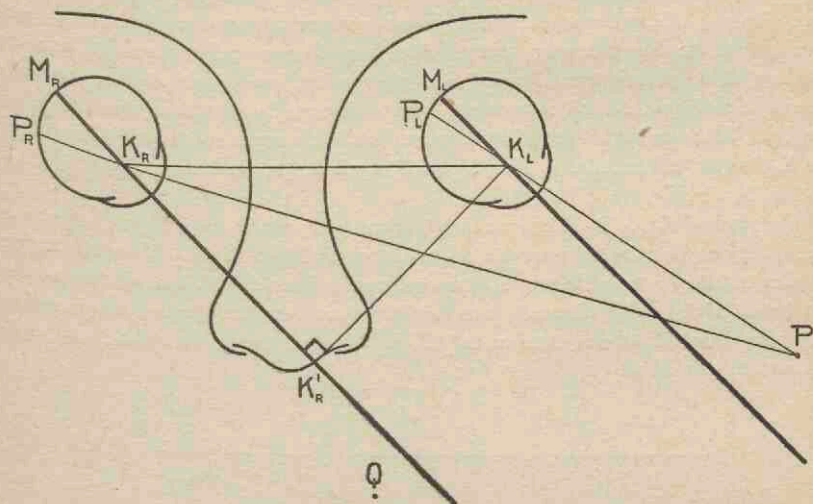


Fig. 14.

Het punt P wordt op de netvliezen onderscheidenlijk op P_R en P_L afgebeeld. Het verschil in afstand ten opzichte van het optisch centrum M is derhalve een verschil in lengtewaarde of wel een lengtedisparatie. Ten opzichte van een in de blikrichting on-eindig ver verwijderd punt is de pupilafstand gelijk aan den on-

derlingen afstand der gezichtslijnen $K_L K'_R$. Uit de $\triangle K_R K_L K'_R$, waarin $K_R K_L$ overeenkomt met de werkelijke pupildistantie, kan men de verhouding van den relatieven pupilafstand $K_L K'_R$ tot den werkelijke berekenen:

$$K_L K'_R = \frac{1}{2} \sqrt{2} K_R K_L = \text{ongeveer } 0.7 K_R K_L.$$

Voor het punt P is dit nog minder, voor het punt Q daarentegen weer meer, zooals uit de figuur direct is te zien. Gemiddeld is de relatieve pupildistantie echter ongeveer 0.7 van de werkelijke. Evenals voor de dwarsdisparatie kunnen wij voor de lengtedisparatie op ongeveer gelijke wijze een betrekking vinden, waarbij dan in de plaats van den werkelijken pupilafstand de relatieve treedt *).

*) De afleiding van deze betrekking valt eenigszins buiten het kader van deze bespreking, te meer, daar zij hier minder voor de hand ligt en niet direct uit de figuur 14 is te volgen. In onderstaande met eenige hulplijnen uitgebreide teekening geldt weer: $\triangle K_R P_R M_R \sim \triangle P K_R P'$ en $\triangle K_L P_L M_L \sim \triangle P K'_L P'$

Hieruit is op geheel analoge wijze als boven voor de dwarsdisparatie een betrekking voor de lengtedisparatie te vinden, waarin de afstand $K_R K_L$ de plaats van den pupilafstand inneemt. Voor de mathematisch aangelegde lezers zij opgemerkt, dat de bewijsvoering voor beide betrekkingen gebruik maakt van de stelling uit de planimetrie: *Drie uit een punt getrokken lijnen snijden van alle evenwijdige lijnen, die zij ontmoeten, twee stukken af, welke dezelfde verhouding hebben.* Wanneer men het rechter oog en het linker oog respectievelijk langs $K_R P$ en $K_L P$ verschuift, zoodat K_R en K_L in P samenvallen, leest men dit onmiddellijk uit de figuur af.

De afstand $K_R K'_L$ is alleen voor het geval het punt P op de gezichtslijn van het linker oog ligt identiek aan den relatieven pupilafstand $K'_R K_L$. Voor alle andere punten is hij grooter of kleiner; daar ons, zooals later zal blijken, slechts punten op betrekkelijk geringe distantie van het fixeerpunt verwijderd interesseeren, maken wij geen groote fout met deze waarde $K_R K'_L$ in de formule als relatieven pupilafstand te gebruiken.

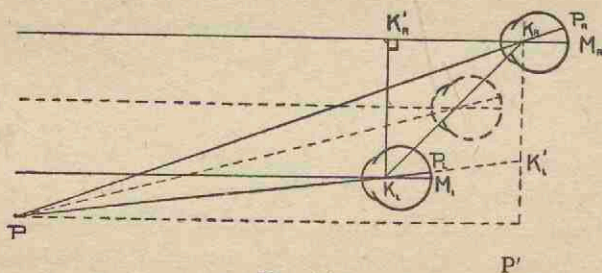


Fig. 14a.

Daar de lengtedisparatie hiermede recht evenredig is, is deze op haar beurt ook slechts 0.7 van de dwarsdisparatie, beide berekend voor punten op denzelfden afstand van ons verwijderd.

In werkelijkheid is het binoculaire blikveld vrij beperkt. Wanneer men de oogen onder een hoek van 45° neerslaat en vervolgens in horizontale richting, hetzij links of rechts draait, bereikt één der gezichtslijnen reeds na eenige tientallen graden den neusrug. Ik vond voor deze waarde ongeveer 25° . Uit figuur 15, welke deze positie der oogen weergeeft, kan men den relatieven pupilafstand q voor de lengtedisparatie becijferen.

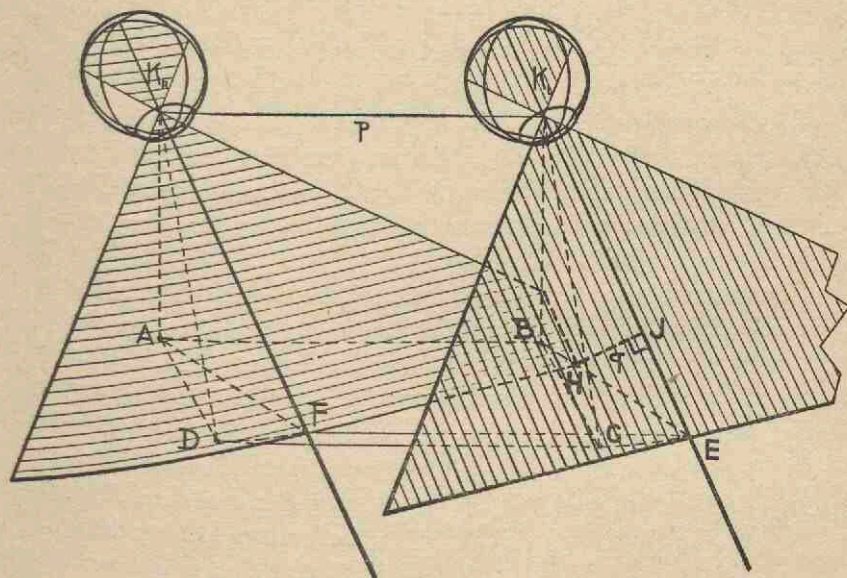


Fig. 15.

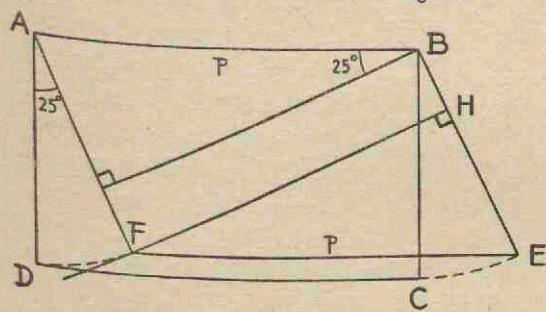


Fig. 16.

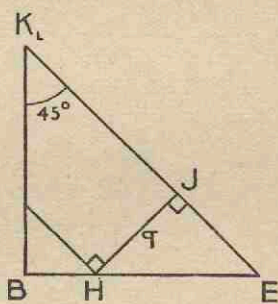


Fig. 17.

Het grondvlak van de stereometrische figuur 15 is in figuur 16 afzonderlijk afgebeeld. Hierin is

$$EF = AB = p = \text{pupilafstand}$$

$$\angle HFE = \angle CBE = 25^\circ$$

$$\sin HFE = \frac{EH}{EF} = \frac{EH}{p}$$

$$EH = p \sin 25^\circ = 0.423 p.$$

In $\triangle JEH$ (figuur 17) is

$$\sin JEH = \frac{HJ}{EH} = \sin 45^\circ = 0.707$$

$$q = EH \sin JEH = 0.423 p \times 0.707 = 0.299061 p$$

of wel $q = 0.3 p$.

Bij de combinatie van omhoogdraaien der oogen over 45° en zijwaarts richten vinden wij ongeveer dezelfde waarde. Ik vond, dat een zijwaartsche draaiing tot $\pm 22^\circ$ mogelijk was. Dit leidt tot een maximum van iets minder dan 0.3 van den pupilafstand als relatieve pupildistantie.

Een indruk van het binoculaire blikveld geeft figuur 18 naar een afbeelding van Helmholtz⁴¹⁾, waarin de punt van den pijl het primaire fixeerpunt aangeeft, terwijl de lengte van den pijl overeenkomt met den afstand tusschen het draaipunt (van het cyclopenoog?) en het „Bewegungsfeld”. Uit dit schema is te leeren, dat het Helmholtz niet mogelijk was den blik 45° te heffen, terwijl het hem wel gelukte den blik over meer dan 45° neer te slaan. Verschiedene auteurs (Schuurman¹⁰¹⁾, Volkman¹¹⁶⁾, Küster⁵⁴⁾, Hering⁴²⁾ geven cijfers, die grosso modo hiermede overeenstemmen. Hering maakt evenwel de opmerking, dat de afbeelding van het onderzoek van Helmholtz niet in overeenstemming is met

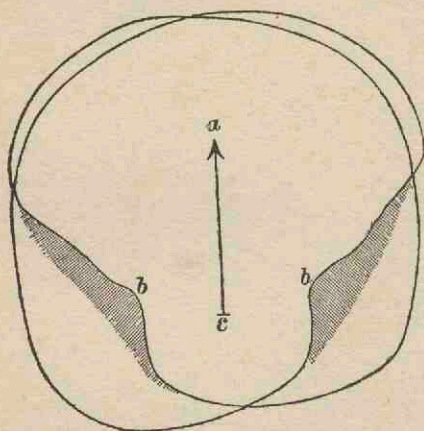


Fig. 18.

de door Helmholtz verstrekte gegevens omtrent de hem mogelijke oogbewegingen in zijn Handbuch der physiologischen Optik, blz. 459, waar hij zegt zijn oogen over 45° te kunnen heffen en naar beneden richten. Een nauwkeurige primaire stand als uitgangspunt is hier uiteraard beslissend.

De lengtedisparatie ontstaan door bovengenoemd samenstel van oogbewegingen bedraagt dus op zijn gunstigst ongeveer 0.3 van de grootte der dwarsdisparatie, berekend ten opzichte van punten op gelijken afstand van de oogen verwijderd.

Een derde oorzaak voor het ontstaan van lengtedisparatie is het voorkomen van netvliesbeelden, welke ongelijk van grootte zijn. Wij willen ook hier uitgaan van normale verhoudingen en dientengevolge aniseikonie voortkomende uit anisometropie voorbijgaan.

Netvliesbeelden, ongelijk van grootte, worden ontworpen van voorwerpen, van welke alle of eenige punten tegelijkertijd een eenigszins belangrijk asymmetrisch quotiënt en een ongeveer even groot stereoscopisch quotiënt bezitten (ongeveer $\frac{1}{2} - \frac{1}{1}$), met andere woorden: voorwerpen, welke geheel of voor een deel dicht bij de oogen en sterk asymmetrisch ten opzichte van het objectief mediane vlak zijn gelegen. Hering ontkent weliswaar elke mogelijkheid tot dieptelocalisatie, maar houdt er toch bij de bespreking van den „Längshoropter” steeds rekening mee. O.a. zegt hij: „Wenn eine Linie ohne sichtbares Ende sich auf correspondirenden Längsschnitten abbildet, weil sie im Längshoropter liegt, so bildet sich doch nicht auch ein einzelner Punkt der Linie auf Deckstellen ab, vielmehr haben die Netzhautbilder jedes einzelnen Punktes eine sogenannte verticale oder Längsdisparation mit Ausnahme der fixirten und derjenigen Punkte, welche im Punkthoropter liegen. Diese Disparation kommt aber hier nicht in Betracht, weil die Linienbilder im Ganzen auf Deckstellen liegen, obwohl sie sich nicht mit entsprechenden Punkten decken. Je zwei Deckpunktpaare empfangen also gleiche Bilder, und wenn dieselben auch von zwei verschiedenen Punkten der Aussenlinie herrühren, so ist doch das Doppelnetzhautbild, auf das es allein ankommt, genau ebenso beschaffen, als wenn die Bilder von einem und demselben Aussenpunkte stammten.” Dit laatste in tegenstelling met wat er geschiedt, wanneer men horizontale, boven elkander uitgespannen draden fixeert op een afstand

van bij voorbeeld 1 M. Figuur 19, welke wij aan Hering ontleenen, schetst de verhouding der netvliesbeelden, waarbij beide netvliesen tot het cyclopenoognetvlies samengesmolten zijn gedacht. Men zou hierdoor den indruk kunnen krijgen, dat de lengtedisparatie onder deze voorwaarden een belangrijke waarde heeft.

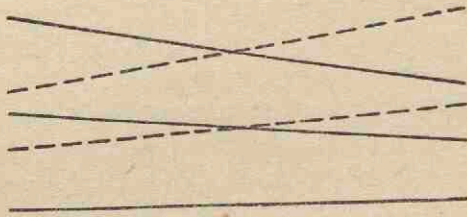


Fig. 19.

Voor een draad, die zich over een breedte van 50 cM uitspant en zich op 7 cM afstand boven den gefixeerden draad bevindt, willen wij de lengtedisparatie voor de uiteinden berekenen, aannemende, dat de waarnemer zich op 1 M afstand heeft opgesteld.

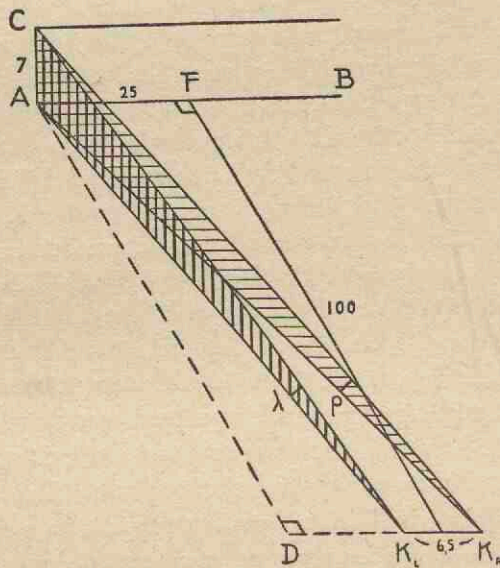


Fig. 20.

Als pupildistantie nemen wij 65 mM, welke waarde voor Nederlanders echter een te hoog gemiddelde is.

In $\triangle K_L AD$ (figuur 20) is: $DK_L^2 + AD^2 = AK_L^2$

$$AK_L = \sqrt{21.75^2 + 100^2} = \sqrt{10473}$$

$$AK_L = 102.3$$

In $\triangle K_R AD$ is: $DK_R^2 + AD^2 = AK_R^2$

$$AK_R = \sqrt{28.25^2 + 100^2} = \sqrt{10798}$$

$$AK_R = 103.9$$

$$\operatorname{tg} \lambda = \frac{AC}{AK_L} = \frac{7}{102.3}$$

$$\lambda = 3^\circ 51' 16''$$

$$\operatorname{tg} \varrho = \frac{AC}{AK_R} = \frac{7}{103.9}$$

$$\varrho = 3^\circ 54' 52''$$

De lengtedisparatie voor het punt C is derhalve gelijk:

$$\varrho - \lambda = 3' 36''.$$

§ 4. De beteekenis der lengtedisparatie.

In de vorige paragraaf zijn wij bij de bespreking van de lengtedisparatie ten gevolge van netvliesincongruentie reeds vooruitgegaan op de beteekenis van de lengtedisparatie in het algemeen door haar in het onderhavige geval elke reële waarde te ontzeggen. Op dezelfde wijze willen wij nu de lengtedisparatie voortkomende uit ongelijke netvliesbeeldgrootte waardeeren. Wij keeren daartoe terug tot het voorbeeld van de horizontale, met een onderlingen afstand van 7 cM boven elkander geplaatste draden van 50 cM lengte, welke zich op een distantie van 1 M van den waarnemer bevinden. De lengtedisparatie van het uiteinde van den draad boven dien, waarvan het midden wordt gefixeerd, berekenden wij reeds als te hebben een waarde van $3' 36''$. Dit punt is in de objectieve gezichtsruijme ongeveer 14° buiten het fixeerpunt gelegen.

Aubert en Förster³⁾ geven aan, dat twee punten, op 200 mM van den waarnemer en 50 mM zijdelings van het fixeerpunt gelegen, 6.5 mM van elkaar verwijderd moeten zijn, willen zij monocular als twee gescheiden punten worden gezien. In graden uitgedrukt vinden wij: twee punten, $\pm 14^\circ$ buiten het fixeerpunt gelegen, moeten ongeveer $1^\circ 48'$ van elkaar zijn verwijderd, indien

zij als twee gescheiden punten onderkend kunnen worden. Het is ook hier aanstonds begrijpelijk, dat een lengtedisparatie ter grootte van $1/30$ van den minimalen hoek, waaronder twee punten in het monoculaire gezichtsveld als zoodanig worden gezien, niet kan bijdragen tot eenige localisatie *).

De lengtedisparatie ontstaan door een samenstel van oogbewegingen, zooals in de vorige paragraaf besproken, heeft een niet te verwaarloozen grootte. Deze dient nader geanalyseerd te worden.

In figuur 21 wordt aangenomen, dat de doorsneden van beide oogen de „Längsmittellinien” voorstellen, hetgeen in werkelijkheid blijkens figuur 15 niet het geval is, daar deze niet in één vlak kunnen liggen. Zij is derhalve schematisch. In figuur 21 A ontstaat bij de afbeelding van het punt P een positieve lengtedisparatie, onder welke is te verstaan, dat het geprikkelde netvlieselement op de rechter retina hooger ligt of juister: een meer positieve lengtewaarde bezit dan het overeenkomstige geprikkelde element op het linker netvlies. Positief en negatief in lengtewaarde noemt men elke ligging respectievelijk boven en onder de „quere Mittel-linie” gelegen.

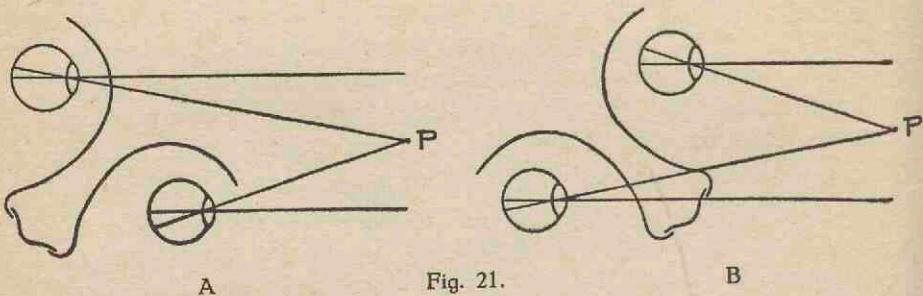


Fig. 21.

Wordt het hoofd nu om een horizontale sagittale as gedraaid,

*) Men verwarre deze quaestie niet met de volgende: In het binoculaire gezichtsveld worden punten, welke *niet* in de kernvlakte zijn gelegen en dientengevolge met dwarsdisparatie worden afgebeeld — doch waarbij de dwarsdisparatie een waarde heeft, welke binnen den z.g. „Panumschen Empfindungskreis” valt — nochtans als *enkele* punten gezien. Zouden evenwel op één netvlies twee elementen, naast elkaar gelegen op een afstand ter grootte van deze dwarsdisparatie, geprikkeld worden, dan werden deze prikkels als zijnde afkomstig van *twee* punten geduid.

totdat de stand is bereikt, zooals in figuur 21 B voorgesteld, zoo is de positieve lengtedisparatie veranderd in een negatieve lengtedisparatie. Er is geen enkele reden om aan te nemen, dat het punt P in het eerste geval anders wordt gelocaliseerd dan in het tweede geval. Wij moeten hieruit de gevolgtrekking maken, dat het bij lengtedisparatie niet van belang is of zij positief dan wel negatief is. Dit is van fundamenteel belang voor de kennis omtrent de beteekenis der lengtedisparatie voor het dieptezien.

Een enkele blik op figuur 22 leert ons, welke verandering van oogstand noodig is om de breedte waarde van de elementen op de beide netvliezen, welke door het punt P worden geprikkeld bij primairen oogstand te doen verwisselen. Figuur 20 A toont de eerste positie, waarbij P op het rechter netvlies rechts van het optisch centrum, op het linker netvlies links daarvan wordt afgebeeld; figuur 22 B laat de omgekeerde situatie zien. In het eerste geval ligt P vóór de kernvlakte, welke hierbij in het oneindige ligt; in het tweede geval ligt datzelfde punt P achter de nieuwe kernvlakte. Het behoeft geen betoog, dat de waarneming van de ligging van een punt vóór of achter hetgeen men fixeert de basis vormt voor het ruimtelijk zien.

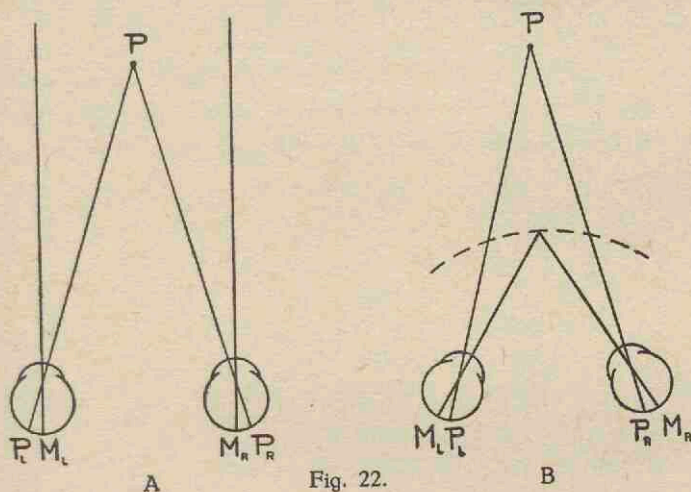


Fig. 22.

Bovenstaande uiteenzetting leidt tot de gevolgtrekking, dat lengtedisparatie ons slechts een gegeven levert over het zich al of niet

bevinden van een punt in de kernvlakte; of dit punt vóór of achter haar is gelegen blijft onbepaald. Bovendien is — alles nog theoretisch — de zekerheid, waarmede dit wordt gezien, in het gunstigste geval slechts 0.3 van de zekerheid, met welke kan worden uitgemaakt met behulp van de dwarsdisparatie of een punt zich vóór of achter de kernvlakte bevindt.

Bedenkt men verder, dat de lengtedisparatie uitsluitend optreedt in bijzondere gevallen, zooals boven werd toegelicht, dan is het duidelijk, dat voor het ruimtelijk zien dwarsdisparatie en lengtedisparatie stellig niet gelijkwaardig *kunnen* zijn.

Paragraaf 2 van dit hoofdstuk besloten wij met de stelling: Indien voor de dieptelocalisatie de dwarsdisparatie een grootere beteekenis heeft dan de lengtedisparatie, zoo is slechts de horizontale plaatsbepaling van het punt der objectieve ruimte, hetwelk de disparate punten prikkelt, ten opzichte van het objectieve mediane vlak van invloed. Doordat wij de beteekenis van de lengtedisparatie tot een minimum hebben teruggebracht, kunnen wij het voorwaardelijke aan deze thesis ontnemen. Wij mogen derhalve dit hoofdstuk besluiten met de samenvattende gevolgtrekking: *Voor de dieptelocalisatie heeft slechts de horizontale plaatsbepaling van het punt der objectieve ruimte ten opzichte van het objectieve mediane vlak beteekenis.*

Tot deze stelling kwamen wij steunende op theoretische gronden en overwegingen. In het vierde hoofdstuk willen wij ten bewijze van haar juistheid door het experiment nieuwe argumenten ontwikkelen.

HOOFDSTUK III

LITTERATUUROVERZICHT

Bespreking van proeven met betrekking tot de beteekenis van lengtedisparatie. Critische analyse van desbetreffende studies van Panum, Helmholtz e.a.

Een physiologisch probleem wordt in het algemeen experimenteel bewerkt, zoodra het als probleem is gesteld en zoolang het als zoodanig geldt. De omstandigheid, dat er over de beteekenis der lengtedisparatie betrekkelijk weinig onderzoekingen zijn verricht, vindt niet zijn rechtvaardiging hierin, dat het probleem reeds spoedig tot een oplossing werd gebracht, doch in het feit, dat het zelden zuiver is gesteld. Panum⁷⁴⁾, die tot degenen behoort, welke op waarlijk klassieke wijze hebben gewerkt en geschreven, heeft met zijn „Physiologische Untersuchungen über das Sehen mit zwei Augen” baanbrekend werk verricht en ons een arbeid van blijvende waarde geschonken. Nochtans is hij aan de kern van het probleem der beteekenis van lengtedisparatie voorbijgegaan, althans heeft hij aan de lengtedisparatie niet de aandacht geschonken, welke hij aan de waarde van de dwarsdisparatie wijdde. Enkele conclusies in zijn studie, welke mede betrekking hebben op de lengtedisparatie, berusten buitendien op een beslist onjuiste waarneming, zooals wij hier onder willen aantoonen.

Panum gaat uit van het bezien van verticale lijnen in den haploscoop*); elk lijnenpaar (zie figuur 22) is dus slechts voor één oog zichtbaar. De onderlinge afstand is verschillend gekozen. Hij doet daarbij de waarneming, dat in het gemeenschappelijke gezichts-

*) „Eine derartige Vorrichtung, mittels welcher jedem Auge ein besonderes Gesichtsfeld dargeboten, der Inhalt beider Gesichtsfelder aber vereint im Sehfelde zur Erscheinung gebracht wird, heisse eine haploscopische Vorrichtung” (Hering).

veld de eene lijn duidelijk voor de andere schijnt te staan, en wel in het geschetste voorbeeld: de rechter voor de linker. Panum gebruikte deze opstelling voor een metend onderzoek naar de grenswaarde van het verschil in afstand tusschen de twee lijnen, waarbij beide lijnen nog als enkele lijnen werden gezien, met andere woorden niet in dubbelbeelden uiteen vielen. In den door hem gebruikte haploscoop bevinden zich de afbeeldingen der lijnen op 460 mM van het uit beide oogen vereenigd voorgestelde knooppunt.



Fig. 22.

Deze voorstelling gaat parallel aan de fictie van het cyclopenoog van Helmholtz of het imaginaire dubbeloog van Hering. Bedraagt op dezen afstand het verschil in onderlingen afstand 2 mM, zoo treedt zonder stoornis of moeite versmelting op; bij 3 mM onderscheid is het goed mogelijk de lijnbeelden tot één te laten versmelten; Panum neemt steeds dubbelbeelden waar, wanneer er een verschil van 4 mM bestaat. Uitvoerig wordt dan berekend met welke waarde op het netvlies dit overeenkomt, hetgeen het volgende resultaat levert:

Object	Netvliesbeeld
2 mM	0.052 mM
3 „	0.078 „
4 „	0.104 „

Daar de breedte der kegeltjes varieert tusschen 0.0045 en

0.0067 mM, komt Panum tot een waarde van 15 tot 20 kegeltjes als grenswaarde voor het enkelvoudig zien. Het is in den loop van deze uiteenzetting, dat wij de zinsnede aantreffen: „Für horizontale Linien scheinen die Grenzwerthe etwas geringere Grössen zu haben”. De berekeningen gelden klaarblijkelijk waarnemingen bij verticalen stand der lijnen, waarbij derhalve zuivere dwarsdisparatie onstaat. Panum heeft echter tevens geexperimenteerd met een opstelling van horizontale lijnen, bij welke lengtedisparatie optreedt. Behoudens de opmerking, dat hierbij naar believen de eene lijn voor de andere of omgekeerd kan worden gezien — dus geen wetmatige dieptelocalisatie —, wordt over het enkelvoudig zien van horizontale lijnen niets naders medegedeeld, met name worden ons getallen, dus ook grenswaarden onthouden *).

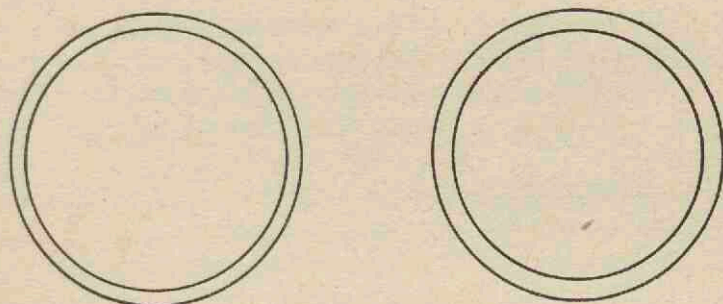


Fig. 23.

Uit het vervolg van zijn betoog is evenwel te lezen, dat Panum de beteekenis der lengtedisparatie en dwarsdisparatie **) gelijkelijk waardeert. Wij citeeren: „Es versteht sich von selbst, dass die Erscheinung des einheitlichen Verschmelzens der geraden Linien wesentlich dieselbe ist, welche Wheatstone beobachtete, indem er einen grösseren Kreis des einen und einen etwas kleineren des anderen Gesichtsfeldes im Sammelbilde einheitlich sah. Ein Paar weitere Modificationen dieses Wheatstone'schen Versuche mit den Kreisen von ungleicher Grösse, die ich vorgenommen habe,

*) Volkmann is de eerste geweest, die hieromtrent een nauwkeurig metend onderzoek heeft verricht.

**) Deze benamingen waren in 1858, toen Panum zijn studie het licht deed zien, nog niet in zwang (zie noot op blz. 39).

sind für die Theorie noch von besonderem Interesse und mögen daher hier ihren Platz finden. Wenn man auf jeder Seite einen gleich grossen Kreis anbringt und in diesem jederseits einen nur wenig kleineren, der jedoch auf der einen Seite einen 1 bis 2 Millimeter grösseren Radius hat, als auf der anderen, so sieht man im Sammelbilde zwei einfache Kreise, ohne Doppel- oder Nebenbilder (Die eigenthümliche scheinbare Lage dieser Kreise zu einander soll später besprochen werden)."

Het instellen van deze cirkelproef stelt gelijkwaardigheid der uitlegging van verschil in afstand tusschen verticale lijnen eenerzijds en tusschen horizontale lijnen anderzijds in den haploscoop voorop. Eenvoudiger gezegd: de onderzoeker heeft theoretisch dwarsdisparatie en lengtedisparatie in waarde gelijk beschouwd. Bij de cirkelproef bestaat namelijk in het vlak van tekening een alzijdige symmetrie. Oorzaken voor het optreden van disparatie zijn in alle richtingen in gelijke mate aanwezig, derhalve ook in horizontale en verticale richting in dezelfde mate. De dwarsdisparatie en lengtedisparatie, welke hierbij ontstaan, zijn dus even groot, geometrisch beschouwd.

Wij zien nu, dat Panum in harmonie met deze theoretische overweging, de waarneming doet, dat de cirkels (zie figuur 23) in het gecombineerde gezichtsveld van den haploscoop enkelvoudig schijnen te zijn, „ohne Doppel- oder Nebenbilder". Vooruitlopend op mijn eigen experimenteele onderzoek kan reeds het voor ieder gemakkelijk te controleeren feit worden vastgesteld, dat het nochtans niet mogelijk is, beide beelden tot algeheele fusie te brengen; er blijft zoowel boven als onder wedstrijd tusschen het linker en rechter netvliesbeeld bestaan. Gedurende een oogenblik schijnt mij deze wedstrijd bij voorbeeld boven verdwenen; richt men dan evenwel onmiddellijk daarop den blik op de onderzijde der cirkels, zoo is de wedstrijd wederom overduidelijk. De verklaring hiervoor willen wij in het volgende hoofdstuk geven.

Door empirie komt Panum tot den slotsom, dat lengtedisparatie niet tot dieptegewaarwording leidt. Dit geeft de verklaring, dat bij de cirkelproef de kleinste cirkel ten opzichte van den buitensten om een verticale as gedraaid schijnt. Terwijl er dus disparatie ontstaat volgens een alzijdig symmetrisch systeem, waarbij een punt als symmetriecentrum optreedt, is de mate van de dieptegewaar-

wording symmetrisch ten opzichte van een (verticale) lijn gelocaliseerd, of wel volgens een systeem van symmetrie van lagere orde.

Panum merkt in dit verband nog op: „Auch dass oben und unten beide Kreise in einer Ebene zu liegen scheinen, entspricht vollkommen der oben mitgetheilten Erfahrung, dass horizontale Linien, die ungleich weit von einander entfernt sind, keine Empfindung der Tiefe geben, sondern in der Ebene des Papiers bleiben, und der Umstand, dass schräge Linien diese Empfindung in schwächerem Grade vermitteln als senkrechte, erklärt den allmähigen Uebergang der Tiefenempfindung, wodurch die Kreise in ihrem ganzen Umfange gegen einander gedreht erscheinen“.

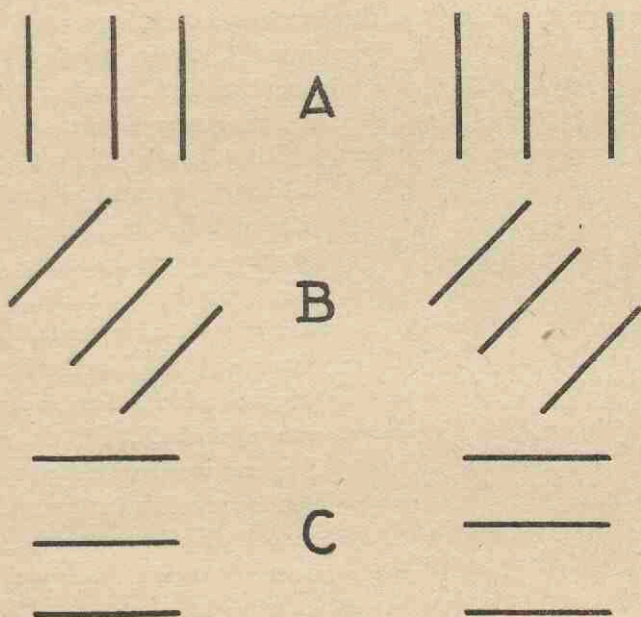


Fig. 24.

Eerder zegt hij reeds: „Bei schrägen Linien ist die Empfindung der Tiefe im Raume, wie bei den senkrechten vorhanden, sie ist aber bei gleicher Differenz der Abstände um so deutlicher und zwingender, je mehr sie sich der senkrechten, um so undeutlicher, je mehr sie sich der horizontalen Lage nähern.“

L. Heine⁸⁹⁾, die naar het mij voorkomt niet bekend was met

het werk van Panum, heeft in een heldere voordracht juist het tegendeel aangetoond. Zijn proeven en desbetreffende toelichting zijn even eenvoudig als overtuigend. In een haploscoop, waarin beide beelden in gelijken zin draaibaar zijn opgesteld, worden figuren afgebeeld bestaande uit drie lijnen, waarvan de middelste met een zekere dwarsdisparatie d wordt waargenomen, zoodanig, dat deze lijn voor beide andere wordt gelocaliseerd. Bij draaiing onstaat de situatie, zooals in figuur 24 B geschetst. De middelste lijn schijnt zich naar achteren te hebben verplaatst. Beschouwt men de lijnen als opstaande ribben van een prisma, zoo verkrijgt men de voorstelling, dat de plasticiteit bij draaiing wint. Deze voorstelling is verdwenen, wanneer de figuren tot 90° worden doorgedraaid, aangezien de middelste lijn niet meer is te localiseeren. Deze valt

namelijk uiteen in zijn twee monoculaire beelden, welke met elkander in een wedstrijd treden.

De kleinste afstand tusschen beide lijnbeelden in het binoculaire netvliesbeeld is slechts dan bepalend voor het stereoscopisch effect, wanneer deze juist samenvalt met de „queren Mittellinie” (Hering) of „Netzhauthorizont” (Helmholtz), dus in geval A van figuur 25. Bij draaiing der figuren worden deze steeds in horizontale richting gecombineerd, zoodat de disparatie voor de middelste lijn toeneemt, en wel volgens de formule $d' = \frac{d}{\cos \varphi}$. Hieruit is te berekenen, dat bij draaiing over 60° de disparatie tweemaal, bij 70° reeds bijna driemaal zoo groot is. Bij 80° zou zij reeds ten naaste bij zesmaal de uitgangswaarde

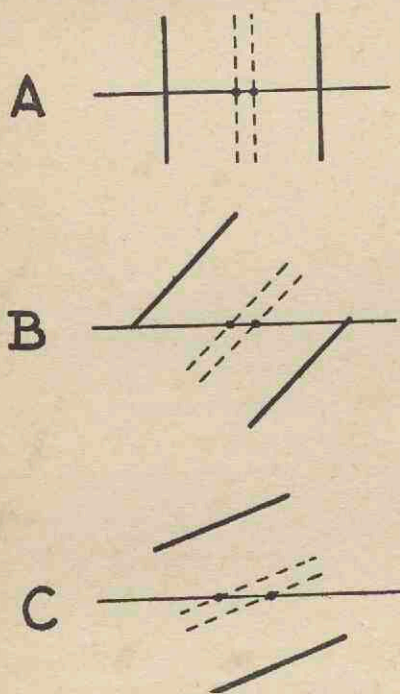


Fig. 25.

bezitten; evenwel treedt hier reeds wedstrijd op, zoodat een localisatie op grond van dwarsdisparatie achterwege blijft.

Dit voor ieder gemakkelijk op te wekken phenomeen is geheel in strijd met de in de geciteerde regelen door Panum gewekte voorstelling als zou de dieptegewaarwording bij het haploscopisch bezien van lijnen met onderling verschil in afstand geleidelijk afnemen bij draaiing van verticalen naar horizontalen stand. Het is dan ook volstrekt zeker, dat Panum zich in dit opzicht heeft vergist. Hij heeft of een onjuiste waarneming gedaan, of mogelijk een theorema opgesteld op grond van waarnemingen in beide uiterste gebieden rondom den horizontalen respectievelijk verticalen stand der lijnen.

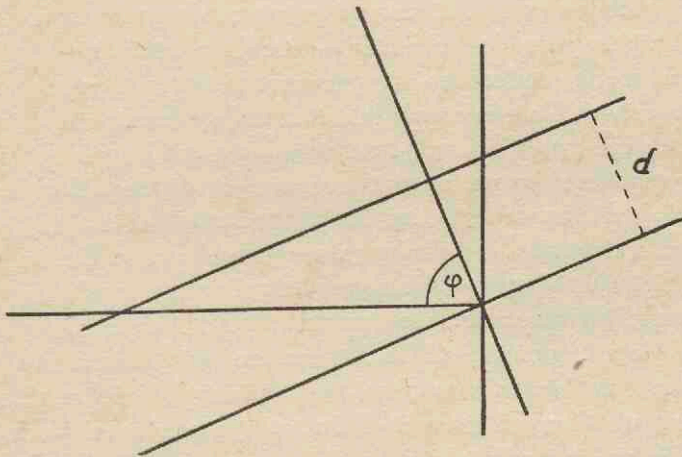


Fig. 26.

Voor een nauwlettenden waarnemer is het mogelijk op te merken, dat bij de cirkelproef de binnenste cirkel, voorzoover deze zich zonder wedstrijd aan ons voordoet, wordt verwrongen tot een tridimensionale kromme, welke zich ongeveer tusschen 45° en 60° van den horizontale het verst van het vlak van teekening, waarin de buitenste cirkel blijft liggen, verwijdert.

Panum heeft voortgebouwd op zijn cirkelproef en aldus aangenomen, dat een element van de eene retina tegelijkertijd geprikkeld met een niet-correspondeerend element van de andere retina samen met dit andere element een enkelvoudige gewaarwording kan geven, onverschillig of er dwarsdisparatie of lengtedisparatie bestaat. Consequent doorredeneerende kwam hij tot het invoeren

van het begrip „Empfindungskreis”. „Wenn man diejenigen Netzhautpunkte beider Augen, die zusammen eine einfache Empfindung geben, correspondirende nennen will, so muss man sagen, dass jeder Netzhautpunkt *mehrere* correspondirende Punkte oder einen *correspondirenden Empfindungskreis* im anderen Auge habe. Will man daher den bisherigen Begriff der correspondirenden Netzhautpunkte festhalten, so muss man hierunter die *Mittelpunkte* der mit einander correspondirenden oder identischen Empfindungskreise der Netzhaut verstehen, und dieselben demgemäss definiren.”

Na bovenstaande uiteenzettingen zal het duidelijk zijn, dat men van een „Empfindungskreis” niet zal mogen spreken. Op theoretische gronden is het bestaan hiervan reeds onaannemelijk, daar er zich bij het physiologische zien — zooals wij in het vorig hoofdstuk uitvoerig ontleedden — geen noemenswaardige lengtedisparatie voordoet. Daarnaast wijzen de experimenten van Panum zelf reeds op de ongelijkwaardigheid van dwars- en lengtedisparatie ten koste van deze laatste, zoodat men eerder van een „Empfindungs-ellipse” (waarvan de lange as horizontaal staat) of mogelijk slechts van een horizontale „Empfindungslinie” moet spreken. Desalniettemin heeft zich het begrip „Panums Empfindungskreis” tot in de modernste litteratuur weten te handhaven, ofschoon reeds A. Nagel⁶⁹⁾ in 1861 op de onjuistheid heeft gewezen en Volkmann¹¹⁵⁾ in 1859 onderzoekingen verrichtte, waaruit ongelijkheid tusschen versmelting van lengtedisparate en dwarsdisparate lijnen bleek.

Helmholtz geeft in zijn handboek een afbeelding (zie figuur 27) welke bij haploscopisch bezien werkelijke lengtedisparatie opwekt. Als toelichting schrijft hij o.a.: „Die Verschmelzung kann auch erfolgen zwischen Punkten, die etwas verschiedene Höhe über oder unten dem Netzhauthorizonte haben, z.B. wenn man die beiden Linienpaare der Fig. F, Taf. II [3e Aufl.] zum Decken bringt, von denen das linke 3, das rechte 3.7 mM Abstand hat. Bei der Betrachtung reeller Objekte findet dieser Fall seine Analogie, wenn man zwei Horizontallinien, die seitlich von der Medianebene gelegen sind, vor Augen hat. Diese sind dann dem einen Auge näher als dem anderen und ihr Abstand erscheint ersterem grösser als letzterem.”

Deze analogie is niet geheel juist. De netvliesbeeldgrootte is ongeveer omgekeerd evenredig met den voorwerpsafstand. De

afstand waarop men figuren beziet, in het algemeen waarnemingen doet, bedraagt voor een emmetroop ook vóór den tijd, waarop de presbyopie zich doet gelden, ten minste 30 cM. Als minimale voorwerpsafstand mogen wij dus 30 cM nemen. Om de twee netvliesbeelden zich te laten verhouden als 3 tot 3,7, zouden de voorwerpsafstanden tot beide oogen dus 37 en 30 cM moeten

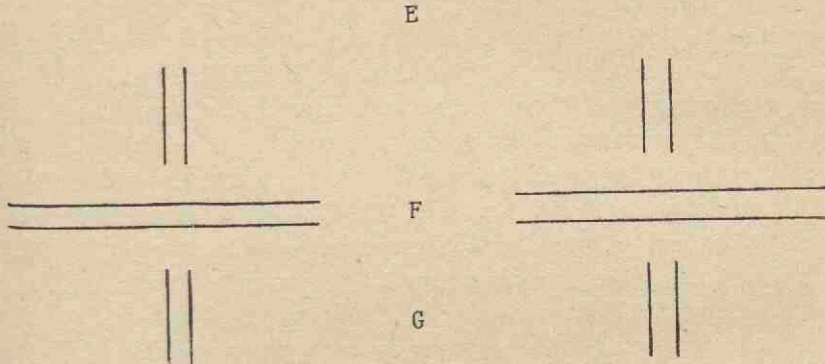


Fig. 27.

bedragen, hetgeen bij een pupilafstand van 65 mM reeds niet is te realiseeren. Het gunstigste verschil bedraagt ruim 4 cM, wanneer men maximaal asymmetrisch convergeert om een zijwaarts van het mediane vlak, op 30 cM afstand gelegen punt of voorwerp te fixeren *).

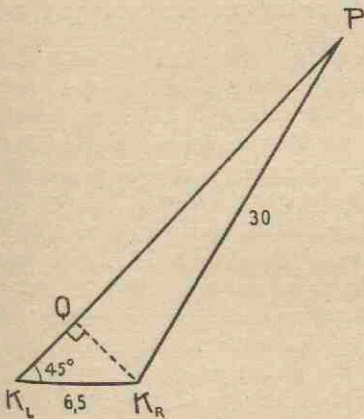


Fig. 27a.

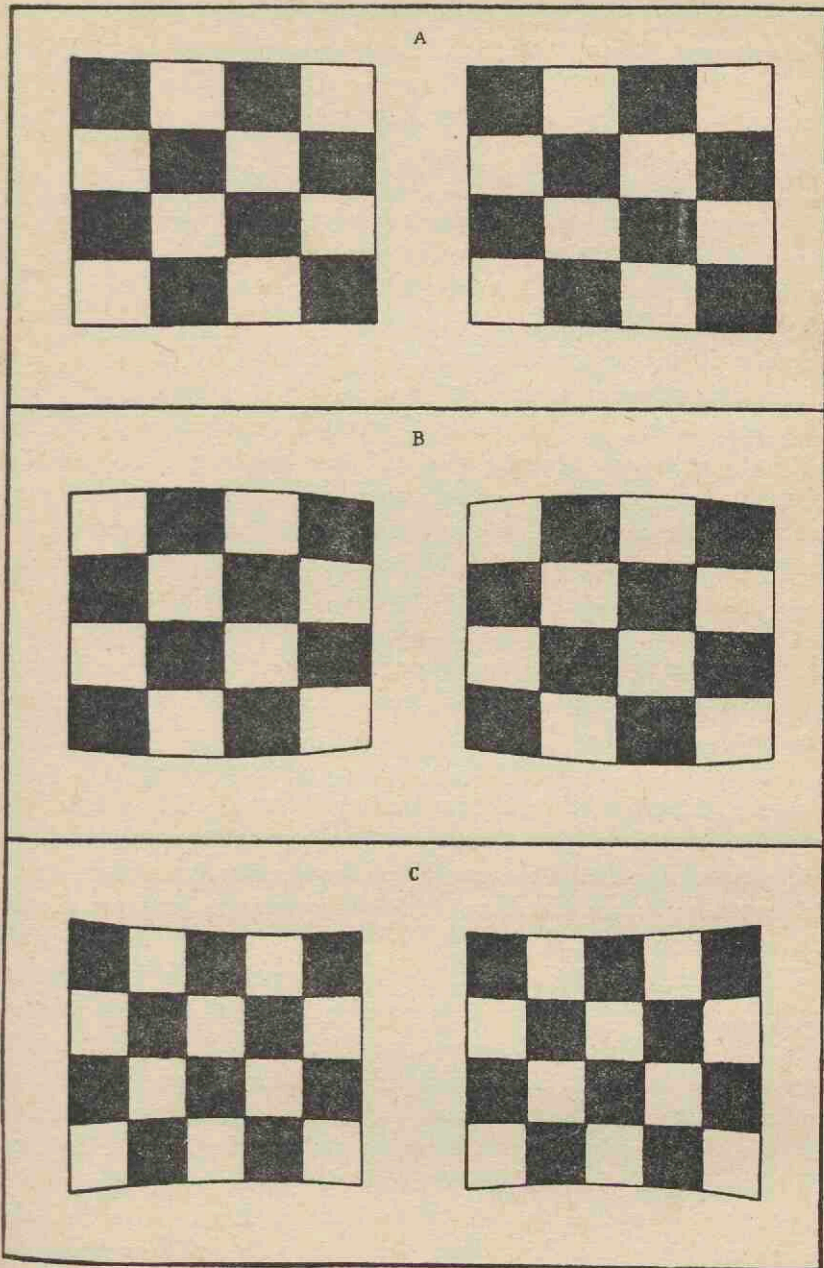
*) Helmholtz geeft aan, hetgeen ik ook vond als grenswaarde, dat de blik 45° zijwaarts gewend kan worden, zoowel temporaal als nasaal. Figuur 27a schetst de maximaal asymmetrische convergentie bij een minimalen voorwerpsafstand van 30 cM. In $\triangle K_L K_R P$ zijn twee zijden en een hoek bekend. De derde zijde $K_L P$ is te berekenen door optelling van de stukken $K_L Q$ en QP , welke door middel van de hulplijn $K_R Q$ zijn te vinden. Men vindt dan 34.2 cM.

De afstanden tusschen de horizontale lijnen in het linker en rechter beeld van den haploscoop mogen zich dus als grensgeval verhouden als 3 tot 3.4. Het door Helmholtz aangegeven geval kan zich in werkelijkheid niet voordoen. De omstandigheden, onder welke de lengtedisparatie in dit geval ontstaat, zijn die, welke wij in § 4 van het vorige hoofdstuk in de eerste plaats noemden. Na onze theoretische analyse konden wij aan de zich op deze wijze voordoende lengtedisparatie slechts een zeer geringe beteekenis toekennen voor wat de dieptelocalisatie betreft *). Helmholtz meende echter wel degelijk een waarde voor de dieptelocalisatie te moeten toeschrijven aan de lengtedisparatie in het bijzonder op grond van de proeven met de figuren op plaat I van de derde druk van zijn handboek (figuur 28). Heine toonde aan, dat hier slechts van een dieptevoorstelling sprake is, welke wordt opgewekt door de gebogen contouren. Men krijgt namelijk denzelfden plastischen indruk, wanneer men één der twee beelden verdubbelt, zoodat men twee identieke figuren in den haploscoop beziet. Zelfs blijft deze indruk bestaan, indien men de beelden pseudoscopisch beschouwt, dat wil zeggen hen verwisselt, waarbij men zou mogen verwachten, dat er inversie van de plastic zou optreden — zoolang men althans nog niet heeft ingezien, dat het op theoretische gronden niet mogelijk is de lengtedisparatie gelijkwaardig te achten aan de dwarsdisparatie.

Hering heeft de wet voor het stereoscopisch zien opgesteld, dat de binoculaire dieptewaarneming berust op het bestaan van

*) Herzau en Ogle⁴³⁾ zeggen bij de probleemstelling in hun studie over aniseikonie onder andere het volgende: „Bei der Beurteilung der Bedeutung von Grössendifferenzen der Bilder beider Augen für das zweiäugige Sehen ergab sich bisher der befremdende Widerspruch, dass Bildungleichheit bei stark asymmetrischer Konvergenz offenbar symptomlos vertragen wird, während solche Differenzen anderen Ursprungs die Ursache ernsthafter Funktionsstörungen bilden können“.

Het betreft hier dus den vorm van lengtedisparatie, welke Helmholtz in de hier boven aangehaalde regelen aanduidde. In tegenstelling met beide auteurs neem ik waar, dat bij een sterken graad van asymmetrische convergentie nabije voorwerpen — dat wil dus zeggen voorwerpen met zoowel een belangrijk asymmetrisch als stereoscopisch quotiënt, zie hoofdstuk II — in dubbelbeelden uiteenvallen. Fixeert men bij voorbeeld het stompe einde van een dicht voor een der oogen rechtstandig gehouden potlood, zoo demonstreert zich dit overduidelijk. Een principieele scheiding tusschen physiologische en „künstlich optisch bedingte“ aniseikonie, zooals Herzau en Ogle invoeren, kan ik daarom niet voetstoots aanvaarden.



dwarsdisparatie. Hiermede ontzegt hij dus aan de lengtedisparatie elken invloed. Deze wet grondt hij op zijn proeven, welke hij verrichtte met verticale draden, waaraan — evenals Helmholtz heeft gedaan — kraaltjes waren gehecht om de lengtedisparatie werkzaam te doen zijn.

In een zeer lezenswaardig artikel betoogt Kothe⁵²⁾, steunende op onderzoekingen met behulp van den haploscoop, dat lengtedisparatie niet kan bijdragen tot dieptewaarneming. Zijn experimenten omvatten de bekende horizontale lijnenfiguren, ringen ongeveer zooals door Wheatstone¹¹⁹⁾ aangegeven, en enkele figuren, welke scheeve disparatie opwekken. Kothe besluit: „Sollen also reine Längsdisparationen untersucht werden, so darf man nur solche Figuren wählen, bei welchen Querverschiedenheiten nicht zur Wirkung gelangen können; also z.B. je 3 horizontale linien, deren obere und untere dieselbe Entfernung auf beiden Seiten haben, während die mittlere Linie verticale Verschiedenheiten zeigt. Es zeigt sich dann hierbei, dass die beiden Einzelbilder der mittleren Linie nur dann zu einer einzigen im Bewusstsein verschmolzen werden, wenn die Längsverschiedenheiten sehr gering sind, ohne dass mit der Verschmelzung aber jemals der Eindruck entstünde, als ob diese Linie in einer anderen Ebene läge als die beiden anderen Linien.”

Kothe doet de toelichting van zijn proeven vergezeld gaan van een kleine theoretische beschouwing, waaruit blijkt, dat hij de lengtedisparatie op grond van ongelijke grootte der netvliesbeelden niet van belang acht. Wat betreft de scheeve disparatie concludeert hij evenals Heine, dat deze slechts werkzaam is voorzover zij dwarsdisparatie in zich sluit.

Een belangrijke bijdrage tot de kennis omtrent de lengtedisparatie heeft Weinhold¹¹⁸⁾ ons gegeven. De probleemstelling in deze studie is of de dieptewaarneming een aangeboren of wel een verworven vermogen is. „Um der Entscheidung dieser Frage etwas näher zu kommen, wurde nun folgende Ueberlegung angestellt: Ist die Verschmelzung querdissparater senkrechter Linien ein durch Erfahrung erworbenes Vermögen, bedingt durch das horizontale Nebeneinanderstehen unserer beiden Augen, so muss das Einfachsehen wegfallen und Doppelbilder müssen auftreten, wenn wir die Augen senkrecht über einander stellen und ihnen längsdisparate

Bilder darbieten, d.h. jedem Auge ein Paar horizontaler Linien mit ungleichem gegenseitigen Abstände [noemen wij dit: gestelde 1]. Hingegen muss auch bei dieser Versuchsanordnung Einfachsehen auftreten, wenn es eine allgemeine Function unseres Bewusstseins ist, auf Reizung zweier disparater Netzhautpunkte mit einer einzigen Empfindung zu reagiren [gestelde 2]."

Deze overweging van Weinhold stelt geen zuiver probleem, zooals een eenvoudige ontleding aantoon. Vooreerst het gestelde 1: Men zou dus volgens Weinhold mogen besluiten, dat het dieptezien op grond van de dwarsdisparatie een ervaringsfeit is, indien onder omstandigheden, waarbij zuivere lengtedisparatie optreedt, dubbelbeelden ontstaan. Wanneer men nu echter aanneemt, dat door ervaring de dwarsdisparate beelden versmelten en tot dieptewaarneming voeren, dan sluit dit in, dat er zich oorspronkelijk geen versmelting voordeed, en er derhalve dubbelbeelden bestonden (of enkele beelden in wedstrijd traden). Het ervaringsmoment ontbreekt bij plaatsing van de oogen boven elkander — zooals dat met prisma's is te bereiken —, hetgeen ook juist de bedoeling van Weinhold is geweest, die een aanhanger van de empiristische theorie is *). Het uiteenvallen in dubbelbeelden bij het zien met lengtedisparatie bewijst dus vooralsnog niets, zoolang niet is gebleken, dat er door oefening, waarbij dus ervaring in het geding kan komen, geen verandering optreedt. Het dubbelzien ondersteunt a priori de empiristische theorie, wanneer men eenmaal de ver-

*) De begrippen empirisme en nativisme worden door Helmholtz omschreven in de navolgende regelen [Physiol. Optik 1e dr. blz. 435] „Es kann oft recht schwer werden, zu beurteilen, was in unseren durch den Gesichtssinn gewonnenen Anschauungen unmittelbar durch die Empfindung, und was im Gegenteil durch Erfahrung und Einübung bedingt ist. An diese Schwierigkeit knüpft sich auch der hauptsächlichste prinzipielle Gegensatz, welcher zwischen verschiedenen Forschern in diesem Gebiete besteht. Die einen sind geneigt, dem Einfluss der Erfahrung einen möglichst breiten Spielraum einzuräumen, namentlich alle Raumanschauung daraus herzuleiten; wir können diese Ansicht als die empiristische Theorie bezeichnen. Die andern müssen allerdings den Einfluss der Erfahrung für eine gewisse Reihe von Wahrnehmungen zugeben, glauben aber für gewisse bei allen Beobachtern gleichförmig eintretende elementare Anschauungen ein System von angeborenen und nicht auf Erfahrung begründeten Anschauungen, namentlich der Raumverhältnisse, voraussetzen zu müssen. Wir dürfen diese letztere Ansicht im Gegensatz zur ersteren wohl als die nativistische Theorie der Sinneswahrnehmungen bezeichnen.“

smelting van dwarsdisparate beelden niet aangeboren acht. Het pleit noch voor de empiristische noch voor de nativistische theorie, wanneer men zich te voren niet op een bepaald standpunt plaatst*).

Gestelde 2 houdt in, dat dwarsdisparatie en lengtedisparatie aequivalent zijn voor wat betreft de mogelijkheid om de disparate beelden tot versmelting te brengen. Dit bouwt dus voort op den „Empfindungskreis” van Panum; Weinhold noemt dit begrip echter niet. Vele auteurs, onder wie ook Weinhold zelf, merken op, dat lengteverschillen minder gemakkelijk versmelten dan breedteverschillen. Het gestelde 2 is dus in zijn algemeenheid onjuist, daar men de beperking moet toevoegen: „einfachsehen” bij *kleinere* verschillen in lengte dan in breedte. De praemissen, welke tot het onderzoek leidden, kunnen wij derhalve niet overnemen. De studie achten wij desondanks van belang vanwege de gevolgde methodiek van het onderzoek.

Weinhold gebruikte een door Heine⁴⁰⁾ aangegeven prisma-combinatie met behulp van welke het eene oog als het ware boven het andere wordt geplaatst. (Zie figuur 32, tegenover bladzijde 85) Men verkrijgt hiermede weliswaar niet een lengtedisparatie, welke zich principieel onderscheidt van die, welke men met behulp van een haploscoop kan opwekken, doch men heeft op deze wijze het voordeel reële veranderlijke draadfiguren te kunnen zien.

Weinhold gebruikt zijn prisma's in combinatie met horizontale draden, welke op en neer verschuifbaar zijn aangebracht. Hij komt dan tot het resultaat, dat prikkeling van dwarsdisparate netvliespunten enkelvoudige beelden met dieptevoorstelling**) opwekt, prikkeling van lengtedisparate netvliespunten daarentegen dubbelbeelden doet ontstaan. Hij leidt hieruit de gevolgtrekking af, dat dieptewaarneming op grond van dwarsdisparatie empirie is, aldus zijn gedachten samenvattend: „man darf wohl aus der Thatsache, dass bei Reizung Längsdisparater Netzhauptpunkte mit geringem Disparationswinkel Doppelbilder auftreten, den Schluss ziehen, dass primär vorhanden, bezw. phylogenetisch erworben die Eigenschaft des imaginären Einauges ist, Reizung disparater Punkte als getrennte

*) Men kan dit vergelijken met de omstandigheid, dat het gestelde $2 \times 2 = 4$ niet kan worden bewezen met aan te voeren, dat $4 : 2 = 2$.

**) Het ware juist, althans minder verwarrend hier van dieptewaarneming te spreken.

Reize zu empfinden, entsprechend der Eigenschaft des Einzelauges, auf Erregung getrennter Netzhautpunkte mit getrennte Empfindungen zu reagiren. Da aber Verschmelzung disparater Punkte in längsdisparaten Durchmessern viel unvollkommener gelingt als in querdisparaten und Tiefenwahrnehmung dabei gar nicht auftritt, so dürfte Letztere wohl als erst secundär erlernt und ausgebildet angesehen werden können." Het zwaartepunt ligt geheel in de controverse: empirie of nativisme. Het ongelijke voorkomen en de ongelijkwaardigheid van dwarsdisparatie en lengtedisparatie heeft als zoodanig geen aandacht gehad.

Belangwekkend zijn de publicaties van Ogle ⁷⁰⁻⁷²) over het „Induced size effect". Deze benaming geldt een nieuw, door den auteur waargenomen phenomeen, hetwelk wij hier in het kort willen beschrijven. Door één oog te bewapenen met een speciale vergrootingslens *) ontstaat ongelijke netvliesbeeldgrootte. Dientengevolge ondergaat de (lengte—)horopter een draaiing om een verticale as in het fixeerpunt, en wel naar voren aan den kant van het grootste netvliesbeeld. Dit is, zooals ook Erggelet ²⁴) al eerder heeft aangetoond, terug te brengen op dwarsdisparatie, welke door de aniseikonie ontstaat. Wanneer nu echter gebruik wordt gemaakt van een lens, welke slechts in één meridiaan vergroot, zoodanig, dat lengtedisparatie ontstaat, dan draait de horopter in tegengestelden zin. Dit phenomeen is vooralsnog onverklaard. Ogle denkt aan de mogelijkheid van een aanpassing in het oog — ongeveer zooals Herxau deze zich voorstelt bij aniseikonie ten gevolge van asymmetrische convergentie — zoodanig, dat het effect overeenkomt met dat, hetwelk zou ontstaan, wanneer op het *andere* oog het netvliesbeeld in den horizontalen meridiaan werd vergroot. Deze gedachte ligt ten grondslag aan de benaming „induced size effect" voor dit phenomeen. „The conception of a compensatory process of course, is only a way of describing the phenomena observed. No physiologic or anatomic basis for such a process is known at present."

Op de wijze van onderzoek en de quantitative resultaten willen wij hier niet verder ingaan. Voor ons is slechts belangrijk op te merken, dat hier dus sprake is van een schijnbaren invloed op de

*) Een planglas van een bepaalde doorbuiging en dikte.

dieptelocalisatie van de lengtedisparatie. Daarnaast mogen wij uit deze studie van Ogle besluiten, dat het oog — in den ruimsten zin gebruikt — de lengtedisparatie als het ware schuwt.

Bij alle auteurs vinden wij beschouwingen naar aanleiding van de door hen verrichte proeven, welke uit zeer verschillende motieven waren ontworpen. Een theoretische analyse van de mogelijkheden ons door den bouw en ligging der oogen in den schedel gegeven, met name de erkenning van de beteekenis van het objectief mediane vlak als vlak van symmetrie troffen wij nergens aan.

HOOFDSTUK IV

EIGEN ONDERZOEKINGEN

§ 1. *Vergelijkend onderzoek naar het vermogen om lengtedisparate en dwarsdisparate punten enkelvoudig waar te nemen.*

In overeenstemming met de in hoofdstuk II ontwikkelde theorie van de symmetrie van het gezichtsorgaan ten opzichte van het mediane vlak, waarbij het ongelijke voorkomen en de ongelijkwaardigheid van dwarsdisparatie en lengtedisparatie werd besproken, is het hier onze eerste taak proefondervindelijk vast te stellen in welke verhouding dwars- en lengtedisparatie door het oog worden verwerkt zonder dat er dubbelzien optreedt. Dit vormt in zekeren zin een herhaling van het onderzoek, dat Volkman¹¹⁵⁾ reeds in 1859 deed. Volkman onderzocht deze verhouding zeer nauwkeurig met behulp van een haploscoop, waarin de eene maal verticale lijnen, een andere maal horizontale lijnen met voor elk oog verschillenden onderlingen afstand werden geboden, en vond hierbij, dat het verschil in den horizontalen meridiaan $\frac{4}{3}$ tot 4 maal grooter kon zijn dan in den verticalen meridiaan, wisselende met den voor het eene oog tijdens elke proef constant gehouden afstand der lijnen *).

Te verwachten resultaat

Aan de hand van de theoretische beschouwingen in hoofdstuk II vonden wij, dat bij het physiologische zien lengtedisparatie ten hoogste 0.3 van de waarde van dwarsdisparatie kan bereiken. Dienovereenkomstig zou men mogen verwachten, wanneer men zich op

*) Een medewerker vond horizontaal 5 tot 8 maal grootere waarden dan verticaal.

een zuiver empiristisch standpunt stelt, dat lengteverschillen welke men juist niet meer kan laten versmelten ten hoogste 0.3 van de waarde der breedteverschillen kunnen bedragen, welke eveneens niet meer versmolten kunnen worden. Grootere lengteverschillen zijn den proefpersoon immers bij het physiologische zien nooit geboden. Wat men als nativist moet verwachten kan men naar onze meening niet bepalen. Wanneer men een aangeboren vermogen tot binoculair zien aanneemt, hetwelk geheel bepaald en begrensd is door den stand en de bewegingsmogelijkheid der oogen, komt men tot dezelfde limiet van 0.3 voor wat betreft de verhouding van versmelting van lengteverschillen en breedteverschillen. Acht men het echter mogelijk, dat het oog over meer potenties beschikt dan die, welke bij het physiologische zien tot haar recht komen, dan kan men in beginsel de verhouding = 1 onderstellen. Een voorbeeld van een ruimere potentie van het oog is het door F. P. Fischer²⁸⁾ aangetoonde feit, dat het temporale netvliesdeel van het eene oog, dat bij primairen stand der oogen door den neus van samenwerking met het overeenkomstige nasale netvliesdeel van het andere oog is uitgesloten, met behulp van een spiegel, welke den neus als het ware doorzichtig maakt, bij het stereoscopische zien is in te schakelen en derhalve correspondentie blijkt te bezitten.

Het resultaat van dit eerste onderzoek is dus theoretisch tevoren niet te bepalen. Omgekeerd kan men echter vaststellen, dat, indien het resultaat zoodanig is, dat de verhouding 0.3 ten naaste bij wordt gevonden, dit noch uitsluitend ten gunste van de empiristische noch uitsluitend ten gunste van de nativistische leer is te duiden. Het lijkt ons voor de nativistische theorie te spreken, wanneer de verhouding veel grooter dan 0.3 zou blijken te zijn.

Methodiek

Voor onze proeven gebruikten wij een eenvoudigen dof zwart geverfden haploscoop, zooals in figuur 29 is afgebeeld. De afstand van de enkele beelden („Halbbilder“) tot de oogen bedraagt hierbij 50 cM; de fixeerpunten liggen 60 mM uit elkander, zoodat ik met een pupildistantie van 62 mM de waarnemingen met nagenoeg parallele gezichtslijnen verricht.

In hoofdstuk II toonden wij aan, dat wij ons met netvliesincongruentie als niet ter zake dienende nauwkeurigheid niet be-

hoefden bezig te houden. Ten overvloede bepaalde ik voor elk oog den verticaal-horizontalen stand van het assenkruis der subjectieve meridianen. De temporale afwijking bedroeg minder dan 1° bij den primairen stand *).

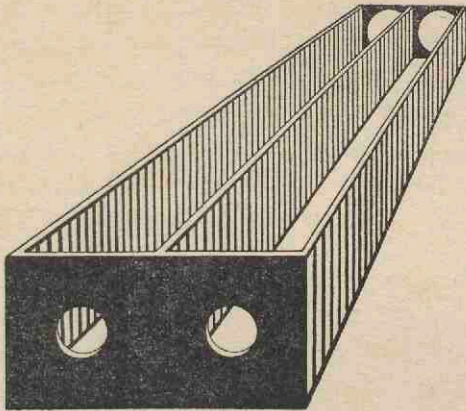


Fig. 29.

Proeven

Proef I. Het beeldvlak wordt gevormd door een witte schijf van 5 cM diameter op een zwart vlak; het middelpunt gemerkt door een zwart punt van 0.5 mM in doorsnede wordt gefixeerd. Het eene beeld bevat op een afstand van 4 mM loodrecht boven het fixeerpunt een even groot tweede punt. Het andere beeld evenzoo een tweede punt achtereenvolgens op 4.25, 4.5, 4.75, 5, 5.25 en 5.5 mM boven het fixeerpunt. In het binoculaire „Sehfeld” liggen de toegevoegde punten dus onderscheidenlijk 0.25, 0.5, 0.75, 1, 1.25 en 1.5 mM uiteen. Bij het haploscopische zien verkrijg ik het volgende *resultaat*:

0.25 en 0.5 mM verschil wordt zonder eenige moeite versmolten. Het toegevoegde punt treedt niet uit het beeldvlak.

0.75 mM verschil geeft nu en dan aanleiding tot een wedstrijd van beide beelden, nu eens tusschen de toegevoegde punten dan

*) Bepaald met het dradenkruis in een topsterktemeter.

weer tusschen de fixeerpunten. Dieptegewaarwording treedt ook hier niet op.

1, 1.25 en 1.5 mM verschil veroorzaakt steeds wedstrijd, waardoor een onrustig beeld ontstaat. Dieptegewaarwording blijft achterwege. Na verwisseling van beide beelden vind ik hetzelfde resultaat.

Gevolgtrekking: Lengtedisparate netvlieselementen kunnen bij gering verschil samenwerken. Daar de wedstrijd evenwel somtijds tevens op het fixeerpunt betrekking heeft, moeten wij aannemen, dat men de lengtedisparatie als het ware wil verkleinen door of één oogas iets te heffen, of de andere iets te doen dalen, of dit gecombineerd, waardoor de disparatie wordt verdeeld over de fixeerpunten en de toegevoegde punten *).

Proef II. Door de fixeerpunten worden 15 mM lange dunne horizontale lijnen getrokken. Overigens is deze proef gelijk de vorige.

Resultaat: 0.25 en 0.5 mM verschil wordt versmolten op dezelfde wijze.

0.75 mM verschil geeft bijna voortdurend wedstrijd van het toegevoegde punt.

1, 1.25 en 1.5 mM verschil geven zonder uitzondering wedstrijd. Dieptegewaarwording doet zich wederom niet voor. Verwisseling der beelden geeft geen verandering.

Gevolgtrekking: Er bestaat onder de omstandigheden van proef II minder neiging de oogassen in het verticale vlak te laten devieeren. Met andere woorden de fixatie wordt door de horizontale lijn gemakkelijker.

Proef III. De horizontale lijn wordt verlengd tot 20 mM en verzwaard tot 1 mM dikte. Overigens blijven dezelfde omstandigheden als bij proef II bestaan.

Resultaat: Bij 0.25 en 0.5 mM verschil, waarbij wederom geen wedstrijd optreedt, schijnt het punt achter de lijn te zijn gelegen. Na verwisseling der beelden blijft deze schijnbare ligging ongewijzigd.

*) Bij een voorproef, waarbij aan het beeldvlak de zwarte omlijsting ontbrak, deed zich dit verschijnsel nog duidelijker voor.

Gevolgtrekking: Gezien het resultaat van de proeven I en II is het onaannemelijk, dat hier dieptewaarneming op grond van lengte-disparatie optreedt, zoodat wij moeten besluiten, dat het hier een dieptevoorstelling geldt. Ter contrôie sloot ik daarom twee proeven aan.

Proef IIIA. Beide oogen bezien een identiek beeld gevormd door de dikke horizontale streep en een op 4 mM er boven gelegen punt.

Resultaat: als bij proef III.

Proef IIIB. Eén der beelden van proef IIIA wordt binoculair, dus zonder den haploscoop bezien.

Resultaat: (na eenige oogenblikken) gelijk aan dat van proef III.

Gevolgtrekking: een element der „Gestaltspsychologie” brengt hier verwarring. Waarschijnlijk stelt men zich voor, dat het punt den top van een driehoek vormt, van welken de horizontale lijn de basis is. Wanneer men aan het begrip driehoek denkt, heeft men gemeenlijk een ongeveer gelijkzijdigen driehoek voor oogen. Een afbeelding van een driehoek, welke hier sterk van afwijkt, is men geneigd uit te leggen als perspectivisch verkort. De dikte van de lijn ten opzichte van het betrekkelijk kleine punt ondersteunt de dieptevoorstelling. Ofschoon dit verschijnsel op zichzelf belangwekkend is, dienen wij het binnen het kader van onze proeven streng te scheiden van dieptewaarnemingen, welke op disparatie berusten, beter nog het geheel te vermijden.

Proef IV. De beelden van proef I worden beide 90° in denzelfden zin gedraaid, zoodat de verschillen zich nu in den horizontalen meridiaan uitstrekken.

Resultaat: 0.25, 0.5 en 0.75 mM verschil wordt versmolten. Bij ongekruiste dwarsdisparate afbeelding wordt bij deze verschillen het toegevoegde punt zonder eenige moeite achter het fixeerpunt gelocaliseerd. Na verwisseling der beelden, waardoor gekruiste dwarsdisparatie ontstaat, wordt het toegevoegde punt met even groote zekerheid vóór het fixeerpunt gelegen waargenomen.

1, 1.25 en 1.5 mM verschil wordt respectievelijk bijna steeds, afwisselend en bij uitzondering versmolten. Met het toenemen van het verschil houdt de dieptewaarneming gelijken tred. Verwisseling

der beelden heeft steeds inversie van de localisatie ten gevolge *).

Wanneer de punten niet worden versmolten, treedt geen wedstrijd op, doch dubbelzien. De localisatie van het toegevoegde punt ondervindt — naar mijn indruk is — als zoodanig geen invloed van de afwisseling van versmelting met het uiteenvallen in dubbelbeelden.

Evenredig met het verschil neemt de neiging toe door divergentie of convergentie de dwarsdisparatie te verdeelen over het fixeerpunt en het toegevoegde punt. Het localiseeren wordt hierdoor zeer vergemakkelijkt, schijnt echter ook al weer geen wijziging te ondergaan.

Van 1.75 mM verschil af bestaat wel neiging tot versmelting, deze komt evenwel niet tot stand. Het localiseeren geschiedt op dezelfde wijze en in denzelfden zin als onder de zoo juist medegedeelde omstandigheden. Het verschil kan tot ongeveer 4 mM, dus gelijk den primairen afstand van het toegevoegde punt stijgen, terwijl nog steeds dieptewaarneming mogelijk blijft. Grootere verschillen leiden slechts bij wisselende fixatie tot dieptegewaarwording, waardoor de disparatie wordt verdeeld over het fixeerpunt en het toegevoegde punt.

Gevolgtrekking: Dwarsdisparate netvlieselementen werken tot op vrij grooten afstand samen.

Men tracht de dwarsdisparatie over het fixeerpunt en het toegevoegde punt te verdeelen.

Dwarsdisparatie brengt dieptegewaarwording teweeg.

Proef V. Door het fixeerpunt wordt een 20 mM lange dunne verticale streep aangebracht. Overigens is deze proef identiek aan proef IV.

Resultaat: gelijk aan dat van proef IV; slechts is het mij hierbij niet mogelijk het verschil grooter dan 3 mM te kiezen, wil er nog dieptegewaarwording optreden.

*) Het schijnt evenwel, dat versmelting bij gekruiste dwarsdisparatie gemakkelijker tot stand komt dan bij ongekruiste, met andere woorden, men localiseert gemakkelijker vóór dan achter de kernvlakte. Voor zoover mij bekend is deze waarneming nog niet eerder met zooveel woorden beschreven. Het feit zelve moet echter op te bouwen zijn uit de uitkomsten van instellingen met het driestaafjesapparaat van Hering.

Gevolgtrekking: een verticale lijn vergemakkelijkt het fixeeren in dien zin, dat een deviatie der oogassen in horizontale richting eenigermate wordt belet. Desondanks schijnt het gebied waarover zich versmelting voordoet iets grooter te zijn in horizontale dan in verticale richting. Indien men derhalve onder „Panums Empfindungskreis” slechts een gebied verstaat, waarbinnen steeds volkomen versmelting tot stand komt, zou men een ellipsvormig begrensde zône vinden, van welke de horizontale as ongeveer anderhalf maal de lengte van de verticale as bezit. Panum zelf sprak van „correspondirenden Empfindungskreis”. Men is sinds lang gewend van correspondentie te spreken in wijder verband, en wel wanneer door samenwerking van disparate netvlieselementen een punt der objectieve ruimte wordt gelocaliseerd. Voor dit geval geeft de horizontale meridiaan circa 8 maal grootere waarden dan de verticale, hetgeen overeenkomt met waarnemingen door een medewerker van Volkman gedaan.

Proef VI. Het eene beeldvlak wordt gevormd door een fixeerpunt, waardoor een 20 mM lange dunne horizontale streep is aangebracht. Verticaal boven het fixeerpunt bevindt zich op 8.5 mM een tweede punt. Het tweede beeldvlak bevat een toegevoegd punt achtereenvolgens op 9, 9.25, 9.5, 9.75, 10, 10.25 en 10.5 mM verticaal boven het fixeerpunt. In het „Sehfeld” liggen de toegevoegde punten dus respectievelijk 0.5, 0.75, 1, 1.25, 1.5, 1.75 en 2 mM uiteen.

Resultaat: 0.5 tot en met 1.25 mM verschil wordt steeds versmolten. Van 1.5 mM verschil af doet zich wedstrijd voor.

Dieptegewaarwording ontstaat niet. Verwisseling der beelden heeft geen invloed op het resultaat.

Gevolgtrekking: Aangezien er in deze serie geen geval aanwezig is van afwisseling tusschen wedstrijd en versmelting der punten, mag men misschien aannemen, dat de fixatie van het fixeerpunt gemakkelijker wordt naarmate het toegevoegde punt zich verder van het fixeerpunt verwijderd.

Proef VII. De beeldvlakken uit de vorige proef worden 90° gedraaid in denzelfden zin.

Resultaat: 0.5 tot en met 1.75 mM verschil wordt versmolten. 2 tot en met 2.5 mM geeft afwisselend versmelting en dubbelzien

in dien zin, dat met toeneming van het verschil meer dubbelzien ontstaat.

Verwisseling der beelden laat hier nog duidelijker dan bij proef IV zien, dat gekruiste disparatie meer versmelting toestaat dan ongekruiste.

Van 3 tot en met 8 mM verschil is het, hoewel versmelting achterwege blijft, mogelijk te localiseeren ten opzichte van de kernvlakke; de moeilijkheid wordt evenredig met het verschil grooter. Verwisseling der beelden geeft ook hier eenzelfde resultaat.

Gevolgtrekking: deze proef bevestigt de uitkomsten van proef V.

Samenvatting

Wanneer wij het resultaat der zeven proeven samenvatten, kunnen wij het volgende vaststellen:

In overeenstemming met de verwachting worden grootere breedteverschillen dan lengteverschillen versmolten. Het onderscheid is echter minder groot dan men theoretisch zou verwachten. De verhouding $\frac{\text{versmelting lengteverschillen}}{\text{versmelting breedteverschillen}}$ bedraagt proefondervindelijk bepaald op $\pm 0.5^\circ$ van het fixeerpunt ongeveer $2/3$, op $\pm 1^\circ$ ongeveer $7/10$ tegenover een berekend quotiënt: $3/10$.

Dwarsdisparatie geeft tot zekere grenzen dieptegewaarwording; ook dan, wanneer zij niet meer wordt versmolten. Lengtedisparatie geeft wedstrijd der beelden, zoodra de punten niet meer worden versmolten. Behoudens het kwantitatieve verschil vinden wij het kwalitatieve onderscheid. Daar er bij lengtedisparatie geen analogon bestaat van de dieptegewaarwording bij dwarsdisparatie, is er op deze wijze geen kwantitatief vergelijkend onderzoek te doen.

Zoowel bij lengte- als bij dwarsdisparatie bestaat de neiging deze te verdeelen over het fixeerpunt en het punt in het „Sehfeld“, hetgeen men indirect ziet, zoodra men de aandacht op dit toegevoegde punt richt. Een lijn door het fixeerpunt loodrecht op de richting der disparatie getrokken beperkt dit streven. Daar men bij deze waarneming afgaat op het feit of het fixeerpunt in dubbelbeelden uiteenvalt — welke al of niet in wedstrijd met elkander zijn — blijft er binnen het gebied van versmelting deviatie der oogassen mogelijk, of beter: deze deviatie zal wel steeds plaats vinden, zoodat de absolute waarden van alle proeven wel iets kleiner zullen zijn.

Aangezien het hier slechts een vergelijkend onderzoek betreft, is dit voor ons van geen belang.

De onderstaande tabel geeft een overzicht van de resultaten, waarbij de tangenten in hoekwaarden zijn omgerekend.

Tabel II

$\pm 0,5^\circ$ van fixeerpunt	Dwarsdisparatie		Lengtedisparatie	
	berekende waarde	bruikbare waarde	berekende waarde	bruikbare waarde
totale versmelting bij maximaal . . .	5' 9"	$\pm 5'$	3' 26"	3'—4'
periodieke versmelting bij maximaal .	10' 9"	$\pm 10'$	5' 9"	$\pm 5'$
geen versmelting, doch desondanks dieptegewaarwording bij maximaal .	20' 38"	$\pm 20'$	—	—

Tabel III

$\pm 1^\circ$ van het fixeerpunt	Dwarsdisparatie		Lengtedisparatie	
	berekende waarde	bruikbare waarde	berekende waarde	bruikbare waarde
totale versmelting bij maximaal . . .	12' 2"	$\pm 12'$	8' 36"	8'—9'
periodieke versmelting bij maximaal .	17' 21"	17'—18'	—	—
geen versmelting, doch desondanks dieptegewaarwording bij maximaal .	55'	$\pm 1^\circ$	—	—

Opmerking

De boven beschreven proeven werden in den loop van anderhalf jaar verscheidene malen herhaald. De uitkomsten, welke in de tabellen zijn verwerkt, zijn van proeven in het laatste half jaar verricht. Over deze periode bleken de resultaten vrijwel constant te zijn. Deze ervaring gaat parallel aan die van vele andere onderzoekers, die vaak eerst na een jaar van oefenen van het indirecte zien tot definitieve uitkomsten kwamen. Dit toont tevens, dat het

voor een minder geoefenden proefpersoon niet wel mogelijk is aanstonds gelijke resultaten te bereiken, en het is uit dien hoofde niet geraten dit soort proeven door reeksen ongeschoolde proefpersonen te laten herhalen. W o d a k en M. H. F i s c h e r¹²¹⁾ betoogen in gelijken zin, dat één serie waarnemingen door een geoefenden onderzoeker gedaan een hechtere basis voor wetenschappelijk werk vormt dan een aaneenschakeling van experimenten door ongeschoolde krachten verricht.

Dat de betrouwbaarheid van deze oogenschijnlijk zeer subjectieve waarnemingen overigens groot is, bleek mij op verrassende wijze, toen ik na beëindiging van mijn proeven de omrekening in minuten vond van de in millimeters opgegeven bepalingen van V o l k m a n n :

versmelting in den horizontalen meridiaan: 26' tot 5' (de kleinste waarde werd eerst na eenige maanden bereikt);

versmelting in den verticalen meridiaan: 3'—4'.

Deze getallen komen geheel overeen met de door mij op 0.5° van het fixeerpunt bepaalde hoekwaarden. Het feit, dat twee onderzoekers onafhankelijk van elkander na en door oefening tot dezelfde grens van versmelting komen, wettigt naar onze meening de conclusie, dat hier een door de anatomie van het dubbeloog bepaalde limiet is bereikt.

§ 2. *Vergelijkend onderzoek naar een lengtehoropter eenerzijds en een dwarshoropter onder analoge omstandigheden bepaald anderzijds.*

Wanneer men over den horopter spreekt, bedoelt men gemeenlijk den proefondervindelijk gemakkelijk te bepalen zoogenaamden empirischen — in tegenstelling tot den wiskundigen — lengtehoropter. Hieronder verstaat men de meetkundige plaats van punten der objectieve ruimte, welke worden afgebeeld op corresponderende „Längsschnitten“, met andere woorden op plaatsen van het netvlies met overeenkomstige breedtewaarden, dus zonder dwarsdisparatie. De oogen worden hierbij geacht parallel te staan of wel zich in symmetrisch convergenten stand te bevinden.

Deze lengtehoropter wordt nauwkeurig en toch eenvoudig bepaald met het horopterapparaat van H e r i n g, verbeterd volgens

Tschermak¹⁰⁸). De scherpe instelling van de loodrecht neerhangende draden in den lengtehoropter — in de subjectieve ruimte is de kernvlakte hiervan het aequivalent — geschiedt op geleide van het zien met dwarsdisparatie, terwijl men het zien zonder dwarsdisparatie nastreeft. Bij elke instelling van een draad vóór of achter de kernvlakte vindt de afbeelding op het netvlies met — respectievelijk gekruiste of ongekruiste — dwarsdisparatie plaats. Dit volgt eigenlijk reeds uit de definitie van den lengtehoropter. De horopter heeft voor iederen proefpersoon een kenmerkenden vorm.

Men heeft nooit getracht experimenteel een dwarshoropter te ontwerpen, waaronder *ceteris paribus* is te verstaan de meetkundige plaats van punten der objectieve ruimte, welke op corresponderende „Querschnitten” worden afgebeeld, dus zonder lengtedisparatie. Na onze beschouwingen in het tweede hoofdstuk is het duidelijk, dat dit niet wel doenlijk is, daar er zich immers bij symmetrische oogstanden nagenoeg geen lengtedisparatie voordoet.

De beteekenis der dwarsdisparatie vindt zijn uitdrukking in de instelling van een lengtehoropter. Wil men, zooals onze doelstelling is, de beteekenis der lengtedisparatie vergelijkenderwijze onderzoeken, zoo dient men een dwarshoropter samen te stellen, welke ontstaat door het streven zonder lengtedisparatie te zien, uitgaande van een toestand, waarbij evenveel lengtedisparatie aanwezig kan zijn als onder de omstandigheden, onder welke men een lengtehoropter bepaalt. Dit is te bereiken door met behulp van een prisma-combinatie de oogen als het ware boven elkander te plaatsen met een loodrecht gemeten pupilafstand gelijk aan de natuurlijke pupil-distantie. De in te stellen draden moeten uiteraard horizontaal verlopen. Ik ontwierp hiertoe de volgende

Methodiek.

Reeds voor ik mij met het probleem van een aan den lengtehoropter gelijkwaardigen dwarshoropter bezighield, experimenteerde ik over het zien met ware lengtedisparatie. Te dien einde had ik een eenvoudig spiegelkastje geconstrueerd, waarmede ik dit gemakkelijk tot stand bracht zonder de symmetrie van het gezichtsorgaan te verstoren. Later nam ik van Weinholt¹¹⁸) het gebruik van

prisma's over, zij het niet op de door Heine⁴⁰⁾ aangegeven wijze, door welke de symmetrie niet behouden blijft, daar slechts voor één oog de stralengang wordt gewijzigd (zie figuur 32). Door gebruik te maken van vier prisma's kan men de symmetrie bewaren: voor het eene oog worden door middel van twee prisma's stralen van mediaan boven aangevoerd, voor het andere oog op gelijke wijze van mediaan beneden. Door omzetten der prisma's is deze stralengang buitendien zoodanig te veranderen, dat de oogen als het ware van plaats verwisselen. Deze verwisseling brengt met zich mede, dat wat zich eerst met positieve lengtedisparatie afteekent, nu met negatieve lengtedisparatie wordt afgebeeld *).

Het volgens Tschermak¹⁰⁸⁾ verbeterde horopteraarsapparaat was voor ons doel niet bruikbaar, daar het verticale verloop der draden hierbij door de zwaartekracht wordt bepaald. Het is derhalve niet mogelijk een horizontalen stand der draden te verkrijgen door het toestel 90° te draaien om een horizontale as.

Ik vervaardigde daarom een toestel (zie figuur 30), dat zoowel voor het opnemen van een dwarshoropter als voor het bepalen van een lengtehoropter kan dienen **). Het bestaat uit een houten kast zonder zijwanden; in den voorwand zijn openingen uitgesneden, waardoor men den effen matwit gekleurden achterwand ziet, welke als achtergrond voor zeven zwarte draden dient. De middelste draad bevindt zich onveranderlijk juist op 1 M van den waarnemer. De andere zes zijn in onderlingen afstand van 7 cm in aan het mediaanvlak parallel verschuifbare galgen aangebracht; de bevestiging is veerend, zoodat een gelijkmatige spanning en daardoor het noodzakelijke uitblijven van trillingen is gewaarborgd. De verschuiving van elk der galgen is op een millimeterschaal in halve millimeters nauwkeurig af te lezen, zoodat na iedere instelling, waarbij een helper behulpzaam is, de stand in een schema kan worden opgeteekend. Door een passende afscherming zijn begin en einde der draden voor den proefpersoon onzichtbaar. De draden vertoonen zich op deze wijze, ongeacht of zij zich naar achteren

*) Voor de definitie van deze begrippen zie bladzijde 54.

***) Voor wat betreft de beteekenis van dit apparaat voor de kliniek zij verwezen naar het artikel van F. P. Fischer en J. W. Wagenaar: Zur Methodik der Untersuchung des Binokularsehens, in Ophthalmologica (in druk).

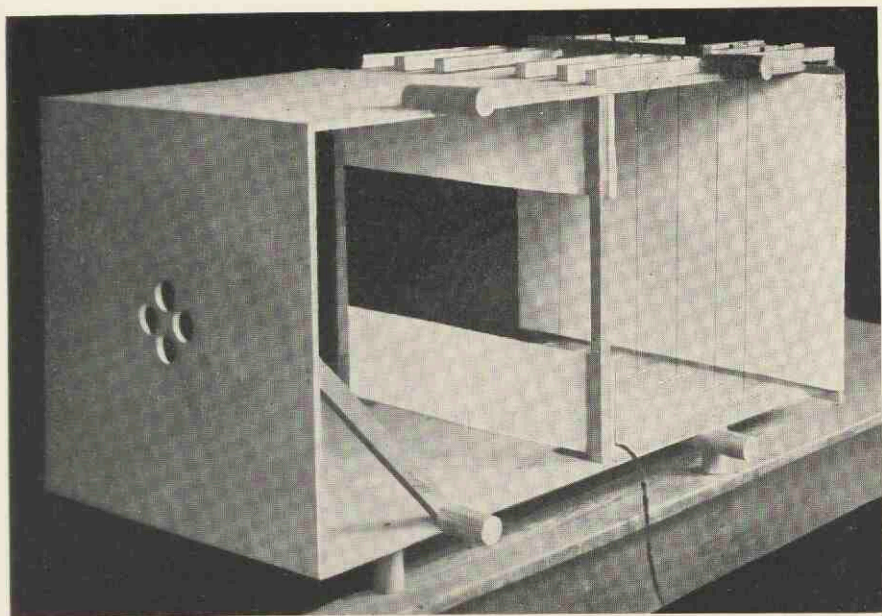


Fig. 30.

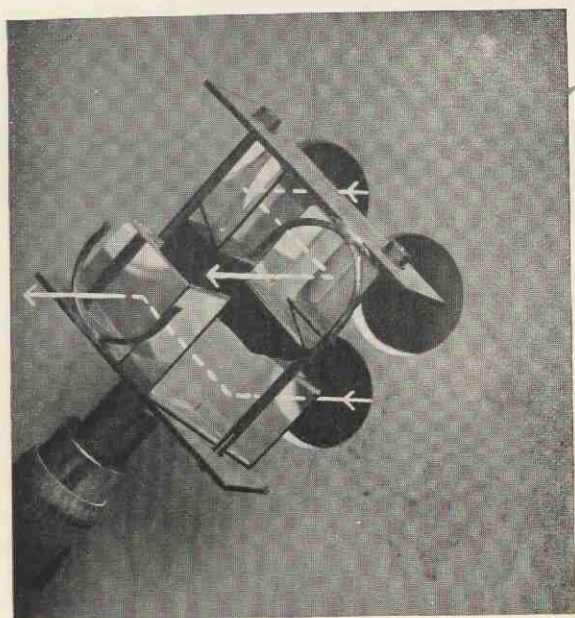


Fig. 31.

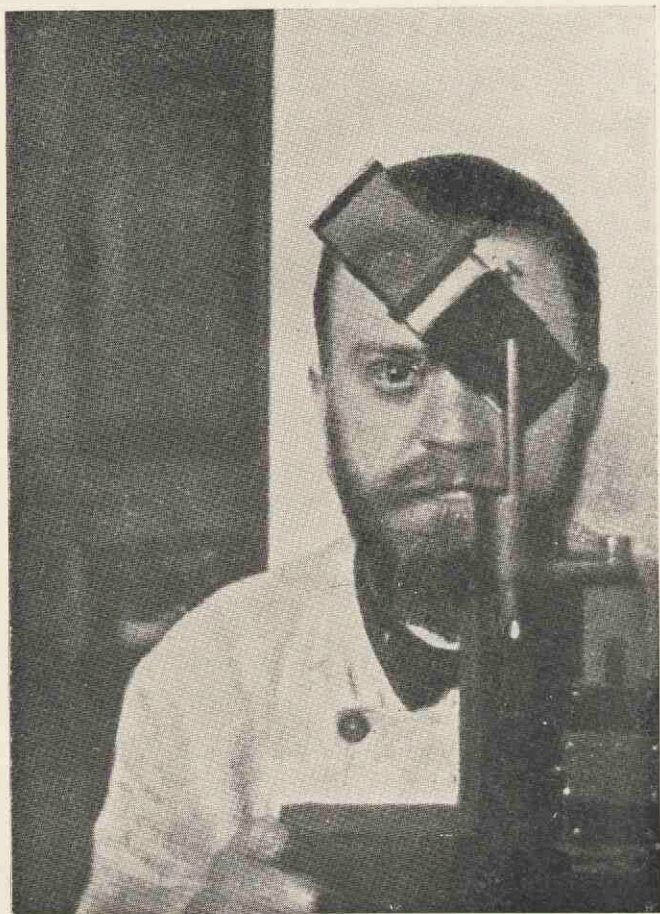


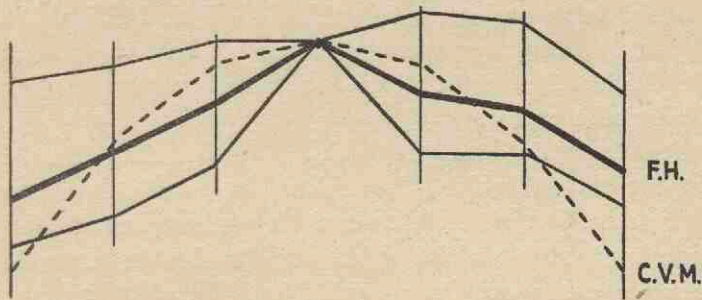
Fig. 32.

Overgenomen uit het geciteerde artikel van M. Weinhold ¹¹⁸⁾.

of wel naar voren bewegen, steeds onder denzelfden hoek. Perspectivische invloeden doen zich derhalve niet gelden. Achter deze afscherming bevindt zich een aan den bodem evenwijdig aangebrachte pijplamp, welke den achtergrond gelijkmatig belicht en geen schaduwen van de draden op dezen achtergrond ontwerpt.

Proeven

Proef VIII. Het toestel wordt zoodanig gesteld, dat de draden een verticalen stand innemen. De proefpersoon fixeert met de oogen in primairen stand den middelsten draad, terwijl de andere draden achtereenvolgens zoo lang worden verschoven, totdat zij in één fronto-parallel vlak schijnen te staan. Het betreft hier dus het instellen van den zoogenaamden empirischen „Fixierhoropter”, welke dus geheel op geleide van het indirecte zien tot stand komt.



F. H. = „Fixierhoropter”.

C. V. M. = Cirkel van Vieth-Müller.

De ordinaten zijn in verhouding tot de abscissen tien maal vergroot.

Fig. 33.

Resultaat: Het blijkt over een periode van verscheidene maanden steeds gemakkelijker een horoptertje in te stellen. Figuur 33 toont den gemiddelden stand van twintig waarnemingen van recenten datum. Tevens is de spreiding aangegeven door voor iederen draad beide uiterste waarden op te tekenen. Bovendien is de cirkel van Vieth—Müller toegevoegd *). De op 1 M bepaalde empirische

*) Deze cirkel, geconstrueerd door de knooppunten van de twee oogen en door het fixeerpunt, vormt de meetkundige plaats van punten welke met een zelfden convergentiehoek kunnen worden gezien. Men heeft dezen cirkel den geometrischen horoptertje genoemd.

lengtehoropter is duidelijk concaaf ten opzichte van den proefpersoon.

Gevolgtrekking: De „Fixierhoropter” heeft een bepaalden vorm. Het vaststellen van dezen vorm is moeilijker naarmate de in te stellen draad verder van den gefixeerden draad is verwijderd. De instelling van de buitenste draden, welke zich in den nulstand bijna 12° van den middelsten draad bevinden, is reeds tamelijk onzeker.

Opmerking: Het kost groote moeite de fixatie van den middelsten draad in stand te houden. Men is sterk geneigd den blik op den zich bewegenden draad te richten en wel in de sterkste mate ten opzichte van den buitensten draad.

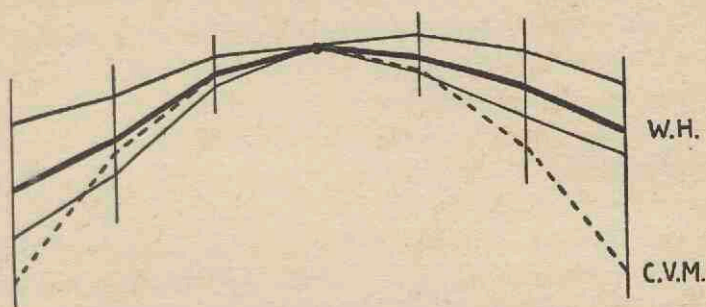
Proef IX. De opstelling is dezelfde als bij proef VIII. De instelling van den horopter geschiedt ditmaal met wisselende fixatie, dat wil zeggen de blik wordt telkenmale op den draad gericht welke wordt verschoven; buitendien glijdt de blik na de instelling nog eenige malen ter contrôle van de juistheid van den stand over alle draden. Het betreft hier dus den zoogenaamden empirischen „Wanderhoropter”.

Resultaat: De horopter wordt met grootere zekerheid ingesteld, hetgeen tot uitdrukking komt door de kleinere spreiding van de uitkomsten. Figuur 34 geeft den uitslag weer van twintig bepalingen. Deze horopter blijkt iets vlakker te zijn dan de boven beschreven horopter met vaste fixatie, gelijk ook Tschermak en F. P. Fischer¹⁰⁷) vonden.

Gevolgtrekking: Wisselende blikrichting vergemakkelijkt de localisatie. Dit werd bij de proeven IV, V en VII eveneens gevonden. In tegenstelling evenwel met den bij voorbeeld bij proef IV verkregen indruk blijkt de wisseling van blikrichting wel eenigen invloed op de localisatie te hebben, hetgeen blijkt uit het verschil in kromming onderscheidenlijk van den „Fixierhoropter” en den „Wanderhoropter”.

Opmerking: Het lijkt verantwoord het instellen van een „Wanderhoropter” een meer physiologische handeling te noemen dan de bepaling van den „Fixierhoropter”. Bij dezen laatste moet men zooals gezegd vooral ten opzichte van de buitenste draden zich dwingen niet tot fixatie over te gaan. Het gebied van stereoscopisch zien waarbinnen zonder wisseling van fixatie een groote zekerheid van

localisatie heerscht is daarom betrekkelijk klein. Uiteraard hangt de grens ten nauwste samen met de grootte en den aard van het object. Toch vormt dit een argument om zooals wij in hoofdstuk II deden, de berekeningen niet verder uit te strekken dan tot gebieden $10-20^\circ$ van het fixerpunt.



W. H. = „Wanderhoropter”.
C. V. M. = cirkel van Vieth-Müller.

Fig. 34.

Proef X. Het toestel wordt 90° om zijn lengteas gedraaid. De draden zijn dus nu horizontaal uitgespannen. Op dezelfde wijze wordt wederom de middelste draad gefixeerd. Getracht wordt een horoptertje in te stellen.

Resultaat: Het is geheel onmogelijk de draden in één vlak te brengen.

Gevolgtrekking: Dit resultaat is geheel in overeenstemming met de door Meyer⁶¹⁾ beschreven waarneming bij zijn draadproef.

Proef XI. Herhaling van proef X, doch met wisselende fixatie.

Resultaat: als bij proef X.

Gevolgtrekking: als bij proef X.

Proef XII. Het toestel bevindt zich in den stand van proef X; de draden verlopen dus horizontaal. De eerder beschreven prismacombinatie wordt voor de openingen geplaatst, zoodat de optisch boven elkander gestelde oogen door de nu zich boven elkaar bevindende openingen van den voorwand zien. Figuur 31 illustreert deze opstelling en geeft den stralengang aan. Er wordt nu een lengtedisparatie opgewekt geheel gelijkwaardig aan de dwars-

disparatie bij proef VIII en IX. De boven elkander geplaatste oogen kunnen in het verticale vlak evenwel niet convergeeren zooals de oogen in physiologische samenwerking dit in het horizontale vlak vermogen. De fixatie op den middelsten draad kan dientengevolge slechts tot stand komen met behulp van een toegevoegd prisma van zes prismadioptrieën. Ter wille van de gunstigste optische voorwaarden gebruikten wij twee prisma's van elk ongeveer drie prismadioptrieën (3°) voor het naar boven verplaatste oog met de basis beneden, voor het naar beneden verplaatste oog met de basis naar boven aangebracht. Op de figuur zijn slechts de houders voor deze toegevoegde prisma's te zien. Er wordt getracht een horopter in te stellen.

Resultaat: De instelling van een horopter blijkt niet mogelijk. Verwisseling der prisma's zoodanig, dat de oogen als het ware elkanders plaats innemen heeft geen invloed op het resultaat. Langdurige oefening beïnvloedt deze waarneming evenmin.

Gevolgtrekking: De lengtedisparatie, welke ongetwijfeld bij verschuiving der draden optreedt, kan ons niet inlichten omtrent den stand van den draad in de ruimte. Een empirische „Fixier-Querhoropter” is dus *niet* te bepalen.

Proef XIII. Opstelling als bij proef XII. Er wordt wisselend gefixeerd, met andere woorden de blik wordt beurtelings op de verschillende draden gericht.

Resultaat: Het blijkt onder deze omstandigheden eveneens onmogelijk de draden een bepaalden stand te geven.

Gevolgtrekking: Een empirische „Wander-Querhoropter” kan niet worden bepaald.

Opmerking: De op den middelsten draad ingestelde kunstmatige convergentie is vrij star, daar men in verticale richting de oogassen over niet veel meer dan 1° kan laten uiteenwijken. Men zou dientengevolge nog kunnen verwachten, dat er een optimale afbeelding tot stand komt, indien de draden op den cirkel van Vieth—Müller zijn gesteld *). Als contrôleproef werden de draden ongeveer vol-

*) Men kan wiskundig aantoonen, dat door het gebruik van de twee extra prisma's de convergentie toeneemt bij het omhoog- en omlaagzien. Hierdoor is de meetkundige plaats van punten met optimale afbeelding een ellips in plaats van een cirkel.

gens dezen cirkel gerangschikt. Dit wekte geenszins in sterkere mate den indruk, dat de draden zich in één vlak bevonden. Treffend was het, dat de draden bij proef XII en XIII den indruk gaven op den achtergrond te zijn geteekend.

Samenvatting

Op overtuigende wijze is aangetoond, dat lengtedisparatie niet leidt tot eenigen vorm van localisatie. Meer speciaal is bewezen, dat het gezichtsorgaan ook onder andere dan de physiologische omstandigheden, namelijk die, onder welke evengroote en gelijkwaardige lengtedisparatie ontstaat als de physiologische dwarsdisparatie, de lengtedisparatie niet vermag te benutten. Dit komt in het bijzonder tot uitdrukking door het feit, dat men geen aan den empirischen lengtehoropter gelijkwaardigen empirischen dwarshoropter kan bepalen.

HOOFDSTUK V

SLOTBESCHOUWINGEN

Het tweede hoofdstuk besloten wij na een theoretische analyse der verhouding van het dubbeloog tot de objectieve ruimte met de stelling: *voor de dieptelocalisatie heeft slechts de horizontale plaatsbepaling van het punt der objectieve ruimte ten opzichte van het mediane vlak beteekenis*. De in het vorige hoofdstuk beschreven experimenten toonen eveneens aan, dat het gezichtsorgaan — hier in den ruimsten zin gebruikt, zie blz. 30 — een symmetrie bezit ten opzichte van één vlak, namelijk het objectieve mediane vlak. De plaats van beide oogbollen is daarom op zichzelf niet een voldoende verklaring voor het verschil tuschen de waarde van dwarsdisparatie en lengtedisparatie. Onze proeven hebben bewezen, dat het dubbeloog, dus het geheele orgaan verantwoordelijk is voor dit onderscheid. Het dubbeloog vermag ons derhalve niet op gelijkwaardige wijze in te lichten omtrent verhoudingen in den horizontalen meridiaan en in den verticalen meridiaan. Van een alzijdige symmetrie der ge waarwordingen van het gezichtsorgaan kan dientengevolge geen sprake zijn.

De ruimte, waarin wij ons bevinden, beleven wij als een tridimensionale ruimte. De vierde dimensie kan men verstandelijk aannemen; van de ruimte welke deze vierde dimensie schept kan men zich evenwel geen voorstelling maken. De ruimtezijn beperkt zich dan ook tot het bewustmaken van de tridimensionale ruimte. Deze ruimte beschouwen wij egocentrisch, dat wil zeggen wij denken ons zelf in het snijpunt van het drieledig assenkruis. Een alzijdige symmetrie ten opzichte van dit snijpunt is een kenmerk van de tridimensionale ruimte, waarin elke dimensie aan de andere gelijkwaardig is. De ruimtezijn, welke hierop betrekking heeft, bezit dezelfde alzijdige symmetrie. Dat deze kwaliteit van den ruimtezijn zijn oorsprong niet

in het gezichtsorgaan kan vinden, is na het bovenstaande betoog een logische gevolgtrekking.

Het heeft in den loop der jaren voor vele onderzoekers een groote bekoring gehad de oplossing van het vraagstuk over den oorsprong van den ruimtezin te zoeken in het gedrag van geopereerde, door aangeboren staar blindgeborenen. Men ging altoos uit van den volgenden gedachtegang: de blindgeborene is geheel aangewezen op het tastzintuig — het gehoorzintuig stelt men hierbij op het tweede plan —, zoodat voor hem slechts de haptische ruimte openstaat. Uit het feit, dat deze blinden na een geslaagde staaroperatie zich als „zienden” aanvankelijk slecht kunnen oriënteren en grove vergissingen maken bij het schatten van afstanden, meende men te mogen afleiden, dat de ruimtezin zich slechts kan ontwikkelen steunende op de gezichtswaarnemingen. Révész⁷⁹⁾ heeft in zijn uitvoerig werk „die Formenwelt des Tastsinnes” een studie van von Senden*), welke 66 gevallen van staaroperaties bij blindgeborenen omvat, kritisch geanalyseerd en hierdoor de waarde van dit onderzoek tot een minimum teruggebracht. Révész beëindigt zijn bespreking van het werk van von Senden aldus: „Dass es v. Senden nicht gelang, seinen Standpunkt zu beweisen, liegt indessen nicht so sehr daran, dass das von ihm angewandte Material unzulänglich war, sondern vielmehr daran, dass die Frage nach der Räumlichkeit unserer Tasteindrücke überhaupt nicht in die Kompetenz der empirischen Psychologie gehört.”

De bezwaren, welke men kan opperen tegen het toekennen van eenige beteekenis aan een soortgelijk onderzoek zijn dan ook vele. Vaak gaat het immers om betrekkelijk jonge kinderen, die hun belevenissen slechts op primitieve wijze tot uiting kunnen brengen. Veelal geldt het ook patiënten, die tevoren wel degelijk eenige lichtgebaarwording hadden. Aan de vele door Révész genoemde argumenten zouden wij nog eenige kunnen toevoegen. Uiteraard zullen slechts die gevallen in onderzoek mogen komen, bij welke na een operatie op *beide* oogen een voldoende gezichtscherpte is ontstaan. Eénoogig zien geeft onontwarbare verwik-

*) M. von Senden, Raum- und Gestaltauffassung bei operierten Blindgeborenen vor und nach der Operation. Leipzig 1932.

kelingen **). De eenoogige ziet weliswaar ook ruimtelijk, doch op geheel andere basis dan de met twee oogen ziende; parallaxen, perspectivische verteekening, overdekking van contouren, schaduwwerking en zoogenaamde luchtperspectieven geven hem de ruimtevoorstelling, welke in de plaats treedt van de ruimtewaarneming van den binoculair zierenden mensch. Een geruime aanpassingstijd is noodig, voordat de monoculus op zijn nieuwe wijze van oriëntering vertrouwt.

Van nativistisch standpunt kan men het probleem van het éénoogig zien natuurlijk slechts zien als een onphysiologische functie; de ervaringen, welke de monoculus opdoet, zal men uitgaande van de nativistische theorie niet kunnen gebruiken ter oplossing van het vraagstuk of de ruimtezin is gebonden aan het zien onder natuurlijke omstandigheden.

Ditzelfde bezwaar geldt in het algemeen tegen de proefnemingen met geopereerde blindgeborenen. Als empirist zal men niet mogen dulden, dat de proefpersoon eerst met één oog leert zien en later met beide oogen. Wel zelden zal echter een operateur het gewaagd hebben de twee oogen tegelijkertijd te behandelen, zoodat er wel steeds een phase van éénoogig zien zal hebben bestaan, hetgeen de aangiften van den proefpersoon vertroebelt. Als nativist kan men niet aannemen, dat de mensch, die onder normale omstandigheden over zijn veranderlijke lenzen beschikt, zonder lenzen — dus zonder accomodatievermogen — en bij totaal gewijzigde netvliesbeeldgrootte eenzelfde indruk van de ruimte zal ontvangen.

Om den invloed van de sterk veranderde refractie door aphakie bij mij zelf vast te stellen deed ik de volgende proef, welke slechts een oriënterend karakter droeg en zonder metingen werd uitgevoerd. In mijn beide oogen werden sterk negatieve contactglazen ingezet. Mijn refractie wijzigde zich hierdoor in een hypermetropie van ± 12 D. Reeds alleen door dit feit was mijn oriëntatie in de ruimte sterk gestoord. Nadat ik mij van de benodigde sterk positieve brillenglazencorrectie had voorzien, waardoor de visus geheel normaal werd, traden nog duidelijker stoornissen op. Het schatten van afstanden ging met grove fouten gepaard, met name

***) Révész verzuimt bij de bespreking der 66 door von Senden bewerkte gevallen te vermelden bij hoeveel van binoculair zien sprake is.

werden de voorwerpen en de wanden van het vertrek te nabij gelocaliseerd. Dit is op zichzelf voldoende te verklaren uit het feit, dat door de gewijzigde optiek het netvliesbeeld ongeveer $1\frac{1}{3}$ maal is vergroot.

Men kan de illusie aphaak te zijn nog versterken door te voren de accommodatie met behulp van indruppelen van een homotropine-oplossing uit te schakelen. De onzekerheid in de localisatie neemt onder deze omstandigheden nog belangrijk toe. Men benadert aldus de voorwaarden, onder welke het onderzoek van geopereerde blindgeborenen wordt verricht. Het leert ons, dat men met het maken van gevolgtrekkingen uiterst voorzichtig moet zijn.

Wij gelooven met Révész, dat een dergelijk onderzoek het probleem der beteekenis van het gezichtsorgaan voor den ruimtezin niet zal kunnen oplossen. Er zoude zich een tweede Caspar Hauser *) moeten voordoen, die van het oogenblik zijner ontdekking af door een staf van zintuigphysiologen en psychologen werd gadeslagen en onderzocht, wilde het probleem in bovengenoemden vorm gesteld een bevredigende oplossing vinden.

Ik meen echter, dat door vele onderzoekers twee begrippen worden verward en voor elkander gebruikt, namelijk het ruimtegevoel eenerzijds en de oriëntering in de ruimte anderzijds. Samen leiden zij tot de ruimtevoorstelling. Het ruimtegevoel acht ik primair.

Zonder in uitgebreide philosophische beschouwingen te willen vervallen moeten wij hier een oogenblik teruggrijpen op het feit, dat Kant in zijn „Kritik der reinen Vernunft" over de aprioristische opvatting van de ruimte zegt, dat elke voorstelling of beter nog gewaarwording slechts a priori in ruimte en tijd kan worden opgevat. Schopenhauer⁹³⁾ deelt deze meening. Wij willen hier den oorspronkelijken tekst aanhalen, waarin Schopenhauer deze opvatting op verbluffend heldere wijze toelicht: „Die Formen dieser Vorstellungen sind die des innern und äussern Sinnes, Zeit und Raum. Aber nur als erfüllt sind diese wahrnehmbar.

Wäre die Zeit die alleinige Form dieser Vorstellungen; so gäbe

*) Het al of niet hebben bestaan van de figuur van Caspar Hauser laten wij geheel en al in het midden. Wij willen slechts de fictie van een volwassen mensch, die, nadat hij nooit eenige of althans zeer vage zintuigelijke gewaarwording heeft ontvangen, plotseling in het volle leven komt te staan, met een voorbeeld verlevendigen.

es kein Zugleichsein und deshalb nichts Beharrliches und keine Dauer. Denn die Zeit wird nur wahrgenommen, sofern sie erfüllt ist, und ihr Fortgang nur durch den Wechsel des sie Erfüllenden. Das Beharren eines Objects wird daher nur erkannt durch den Gegensatz des Wechsels anderer, die mit ihm zugleich sind. Die Vorstellung des Zugleichseins aber ist in der blossen Zeit nicht möglich; sondern, zur andern Hälfte, bedingt durch die Vorstellung von Raum; weil in der blossen Zeit alles nacheinander, im Raum aber nebeneinander ist: dieselbe entsteht also erst durch den Verein von Zeit und Raum.

Wäre andererseits der Raum die alleinige Form der Vorstellungen dieser Klasse; so gäbe es keinen Wechsel: denn Wechsel, oder Veränderung, ist Succession der Zustände, und Succession ist nur in der Zeit möglich. Daher kann man die Zeit auch definiren als die Möglichkeit entgegengesetzter Bestimmungen am selben Dinge."

Hiermede worde volstaan, omdat sindsdien de aprioristiciteit van ruimte en tijd gemeengoed is geworden. Ik zou het woord *gevoel* in de plaats willen stellen waar hier sprake is van de *aprioristische voorstelling* van de ruimte. Naast elkander onderscheiden wij dus zooals gezegd het ruimtegevoel en de oriëntering in de ruimte. Het bestaan van het eerste is een *conditio sine qua non* voor het tweede. Samen voeren zij tot de voorstelling van de ruimte.

Mijn theorie over de beperkte symmetrie van het gezichtsorgaan bewijst naar mijn meening, dat het alzijdig symmetrische ruimtegevoel zijn oorsprong niet kan vinden in het gezichtsorgaan. Dit moet derhalve elders ontstaan, en wel daar, waar een alzijdige symmetrie in bouw of beter nog in functie is gegeven.

De samenhang van het evenwichtszintuig en het gezichtszintuig bij het waarnemen van de ruimte stond reeds sinds langen tijd vast. Door de proeven, welke in hoofdstuk I zijn beschreven, zijn hiervoor nieuwe argumenten naar voren gekomen. In ditzelfde hoofdstuk werd reeds opgemerkt, dat bij het evenwichtsorgaan, hoewel er anatomisch bezien een symmetrie ten opzichte van het mediane vlak bestaat, de rangschikking van de onderling loodrecht staande booggangen zoodanig is, dat telkens twee gangen parallel staan en dus gelijktijdig worden geprikkeld, doch zóó, dat de lymphestroom aan de eene zijde ampullipetaal, aan de andere zijde ampullifugaal is

gericht (Quix⁷⁷). Hierdoor ontstaat wat de functie betreft een alzijdige symmetrie, hetgeen voor een orgaan, dat is ingeschakeld in het ruimtepercipieerende systeem van principieele beteekenis is. Von Cyon¹¹) is het eerst op het denkbeeld gekomen om aan het booggangenstelsel een beteekenis toe te kennen voor den ruimtezinn. Het geluid, inzonderheid de lichaamsgeruischen en de nooit onderbroken stroom van gedruischen uit de ons omgevende wereld, zou voor de halfcirkelvormige kanalen den prikkel vormen. Quix⁷⁸) heeft een theorie ontwikkeld, waarbij het evenwichtszintuig terwille van zijn functioneele alzijdige symmetrie de grootste beteekenis heeft, doch de geluidsprikkel wordt niet langer als factor erkend voor de primaire ruimtevoorstelling, welken laatsten term wij in dit verband willen vervangen door de uitdrukking ruimtegevoel.

Over de samenwerking der zintuigen zegt Quix het volgende: „De optische en haptische gewaarwordingen zijn onverbreekbaar verbonden met vestibulaire gewaarwordingen van bewegingen om drie assen. De ruimtewaarnemingen van de buitenwereld, verkregen langs het oog en den tastzin, welke ik de exogene zoude willen noemen, worden geprojecteerd op de endogene ruimtewaarnemingen van ons eigen lichaam, verkregen door den tastzin en geordend in drie afmetingen door het vestibulairorgaan. Uit beide groepen van waarnemingen wordt onze physiologische ruimtevoorstelling gevormd.”

Het oude vraagstuk der superioriteit van den tastzin of den gezichtszin voor het probleem der waarneming van de ruimte krijgt een geheel ander aspect. Wij nemen aan, dat in eerste instantie het ruimtegevoel ontstaat; na al het voorgaande is het duidelijk, dat geen orgaan beter in staat is daartoe bij te dragen dan het evenwichtsorgaan. In tweede instantie bestaat de behoefte aan de oriëntering in de ruimte. Dat hierbij het oog van grooter belang is dan de tastende hand vraagt nauwelijks om een toelichting *). De aard der dingen wordt echter haptisch beter onderzocht dan optisch.

*) De binoculair ziende is uiteraard tegenover den monoculus in het voordeel; de eerste neemt afstanden waar, de tweede komt tot een voorstelling van afstanden. De normale mensch is echter ten opzichte van verschillen in den verticalen meridiaan functioneel ook eenoogig. Dit is af te leiden uit de beschouwingen, welke in hoofdstuk II werden gehouden, maar blijkt ook uit het

Révész drukt dit als volgt uit: de structuur der dingen behoort tot het gebied der „Haptik“, de vorm tot dat der „Optik“.

Het aesthetisch beleven is in hoofdzaak gebonden aan den vorm. Het is mede daarom, dat het gezichtsorgaan voor ons levensgeluk een zoo groote waarde heeft. Révész merkt in dit verband op, dat een blinde zelden of nooit de behoefte gevoelt anders dan ter oriëntering de voorwerpen in zijn omgeving te betasten. Een aesthetische bevrediging schenkt hem deze handeling niet.

Het ruimtegevoel is steeds egocentrisch bepaald, dat wil zeggen men denkt zich steeds in het snijpunt van een drieledig assenkruis; de stand van dit assenkruis is afhankelijk van de eigen lichaams-houding. Voor een juiste ruimtevoorstelling is het noodzakelijk, dat de oriëntering in de ruimte, dus ook de optische waarnemingen harmonieeren met het *steeds* en *reeds* aanwezige ruimtegevoel. Daar waar deze harmonie wordt verbroken ontstaat, eventueel mede onder den invloed van schijnbewegingen der ruimte, een zekere mate van onzekerheid, welke tot een gevoel van onwelzijn kan stijgen.

Hier komen wij op ongezochte wijze terug op de in hoofdstuk I beschreven proeven, welke tot de probleemstelling hebben geleid. Ook hierbij deed zich een disharmonie voor tusschen de ruimte-oriëntering, in casu de optische waarneming, en het ruimtegevoel. Deze disharmonie kwam door een schijnbeweging der ruimte tot uiting. Voor een nauwgezet *metend* onderzoek zullen deze proeven, welke wij hebben genoemd *Proef der asymmetrische convergentie met open oogen* respectievelijk *met gesloten oogen*, in aantal moeten worden uitgebreid.

Aan het einde van deze slotbeschouwingen gekomen, willen wij nog een gedachte uitspreken over den weg, welken men mogelijk zal moeten bewandelen om het probleem der ruimtevoorstelling nader tot een oplossing te brengen. Men is misschien te veel in anatomische richting geschoold om de physiologische onderzoekingen los te maken van een bepaald zintuig.

Onze voorstellingen worden opgebouwd door een samenvloeiing

feit, dat men horizontale draden niet vermag te localiseeren. De op- en neergaande beweging van het hoofd bij het loopen, waardoor parallaxische verschuivingen ontstaan, die het mogelijk maken te localiseeren, helpt ons deze moeilijkheid in het gewone leven te overwinnen. Zie hieromtrent de publicatie van Tschermak¹¹¹) over parallaxoscopie.

van gewaarwordingen, welke afkomstig zijn van vele, zoo niet alle zintuigen. De gewaarwordingen dragen bij tot het tot stand komen van de voorstelling, doch deze voorstelling is altijd meer dan de som van de gewaarwordingen. De zintuigelijke gewaarwordingen kunnen het karakter der voorstelling modificeeren, zeer sterk beïnvloeden, maar het nooit scheppen. Gesteld, men denkt aan een hond; de praegnantie van de „Gestalt”, waarmede hij voor den geest komt is dan volkomen. Er mengt zich bij het optisch beeld, het geluid van het blaffen, de reuk van zijn huid, de ruwheid zijner haren, het woordbeeld HOND en de klank van het gesproken woord „hond!”. Alle zintuigelijke elementen zijn met deze ondeelbare voorstelling verbonden, doch de gewaarwordingen zijn versmolten, als „Gestalt” ons bewustzijn binnen getreden. Daarom kan er naar onze meening geen sprake zijn van een geïsoleerde haptische, optische of andere ruimte. Er is slechts één ruimte, over welke ons de zintuigelijke gewaarwordingen oriënteeren.

Ik stel mij voor, dat de physiologische, natuurlijke ruimtevoorstelling noch optisch, haptisch, statisch of acustisch is, doch als zoodanig ruimtelijk zonder zintuigelijk kenmerk.

De eindconclusie kan hierin worden vervat: *Het gezichtsorgaan dient slechts ter oriëntering in de ruimte, doch heeft geen beteekenis voor het primaire ruimtegevoel.*

SAMENVATTING

Hoofdstuk I bevat in de eerste plaats een beschrijving van de proeven, welke tot de probleemstelling hebben geleid (§ 1). De proef welke het punt van uitgang vormt is de volgende: *Wanneer men, een voorwerp binoculair fixeerende, één oog met de hand bedekt en nu zoodanig convergeert, dat slechts het bedekte oog binnenwaarts draait, terwijl het fixeerende oog geen beweging uitvoert — asymmetrische convergentie —, dan ontstaat een hoogst merkwaardige sensatie: men heeft de gewaarwording, dat de geheele ruimte, het fixeerpunt inclus, in de convergentierichting wegdrijft.* Door het aansluiten van een vingerwijsproef, waarbij het fixeerpunt werd aangewezen, kwam dit wegdrijven der ruimte op meetbare wijze tot uiting (proef A).

Een contrôleproef toonde aan, dat de asymmetrische convergentie op zich zelf, dus zonder ondersteuning van optische waarnemingen, invloed uitoefende op de beweging van den arm bij de vingerwijsproef (proef B). Een litteratuurstudie wijst uit, dat proef A in wezen nieuw is, proef B slechts voor zoover de convergentie éézijdig was.

De analyse der combinatie van beide proeven leidt tot de eigenlijke probleemstelling (§ 2). De beschreven waarneming bij proef A vindt zijn oorzaak in een verandering der egocentrische localisatie in de subjectieve gezichtsruimte. Drie theorieën worden besproken, welke het tot stand komen van deze egocentrische localisatie beschrijven en vastleggen. Slechts de leer der indirect-sensorische functie van de oogspieren (Tschermak¹¹⁰) verklaart de waarneming van proef A.

Proef B bewijst opnieuw den samenhang tusschen het gezichtsorgaan en het evenwichtsorgaan, welke samenhang reeds door vele onderzoekers is erkend, zonder dat dit evenwel tot een bevredigend eindresultaat heeft geleid. Aan de hand van meer uitgebreide

proeven zal men deze relatie nader moeten bestudeeren, indien men door empirie de vraag wil beantwoorden of er slechts een wisselwerking, een wederzijdsch reguleerende functie, een overwegen van één van beide organen bestaat, of wel dat de samenwerking is te beschouwen als de functie van een dubbelzintuig met nieuwe potenties, en wel speciaal voor den ruimtezin.

Geheel afgezien van de mogelijkheid en onafhankelijk van de eventueele uitkomsten van een experimenteele uitwerking hebben wij de vraag opgeworpen of niet langs theoretischen weg alleen reeds een nadere betrekking tusschen beide zintuigen is te vinden, overwegende, *primo* dat de ruimte waarin wij leven zich aan ons als een tridimensionale ruimte voordoet, *secundo* dat een orgaan, hetwelk prikkels uit deze tridimensionale ruimte in drie dimensies op gelijke, dus symmetrische wijze verwerkt, ons omtrent deze ruimte beter zal inlichten dan een orgaan, dat dit slechts voor ten hoogste twee dimensies gelijkwaardig doet. Het gezichtsorgaan staat in dit licht gezien bij het vestibulairorgaan ten achter, doordat het eerste een beperkte symmetrie bezit tegenover een alzijdige (functioneele) symmetrie van het evenwichtsorgaan.

In hoofdstuk II wordt deze beperkte symmetrie met haar gevolgen voor de ruimtewaarneming uitvoerig behandeld en ontleed. Een analyse van de geometrische verhoudingen in de objectieve gezichtsruimte in verband met de plaats van de oogen in den schedel (§ 1) leidt tot de voorloopige gevolgtrekking: *Indien de asymmetrische ligging van een punt der objectieve ruimte ten opzichte van beide oogen als zoodanig eenige beteekenis heeft, zoo is slechts de horizontale plaatsbepaling van dat punt ten opzichte van het objectieve mediane vlak (vlak van symmetrie) van invloed (Stelling A).*

Vervolgens wordt mathematisch ontwikkeld welk verband er bestaat tusschen de plaats van het voorwerp in de objectieve ruimte en zijn afbeelding op het netvlies (§ 2). Dit leidt tot een uitbreiding van stelling A: *Indien voor de dieptelocalisatie de dwarsdisparatie een grootere beteekenis heeft dan de lengtedisparatie, zoo is slechts van het punt der objectieve ruimte, hetwelk de disparate punten prikkelt, de horizontale plaatsbepaling ten opzichte van het objectieve mediane vlak van invloed op de dieptelocalisatie (Stelling B).* Hoe de dwarsdisparatie en de lengtedisparatie zich in beteekenis

verhouden, wordt hierna uitvoerig ontleed. Allereerst worden de voorwaarden bestudeerd, onder welke zich dwarsdisparatie en lengtedisparatie voordoen (§ 3). Er wordt bewezen, dat onder bijzondere voorwaarden ten opzichte van een bepaald punt een lengtedisparatie kan ontstaan van 0.3 van de waarde der dwarsdisparatie voor datzelfde punt. Dwarsdisparatie is oorzaak, dat men een punt vóór of achter de kernvlakte localiseert. Een theoretische beschouwing (§ 4) brengt aan het licht, dat lengtedisparatie ons slechts een gegeven levert over het zich al of niet bevinden van een punt in de kernvlakte; of dit punt vóór of achter haar is gelegen blijft onbepaald. Bovendien is de zekerheid, waarmede dit wordt gezien, blijkens deze analyse in het gunstigste geval slechts 0.3 van de zekerheid, met welke kan worden uitgemaakt met behulp van de dwarsdisparatie of een punt zich vóór of achter de kernvlakte bevindt.

Voor het ruimtelijk zien *kunnen* dwarsdisparatie en lengtedisparatie derhalve niet gelijkwaardig zijn. Stelling B, welke voorwaardelijk was, moet dus worden vervangen door de stelling: *Voor de dieptelocalisatie van een punt der objectieve ruimte heeft slechts de horizontale plaatsbepaling van dat punt ten opzichte van het objectieve mediane vlak beteekenis*. Hiermede wordt het zuiver theoretische deel besloten.

Hoofdstuk III geeft een overzicht van de litteratuur betreffende proeven, welke betrekking hebben op de beteekenis en het voorkomen van lengtedisparatie. Bij alle besproken auteurs worden beschouwingen gevonden *naar aanleiding* van de door hen verrichte proeven, welke uit zeer verschillende beweegredenen waren ontworpen. Een theoretische analyse van de mogelijkheden door den bouw en de ligging der oogen in den schedel gegeven, met name de erkenning van de beteekenis van het objectieve mediane vlak als vlak van symmetrie werd nergens aangetroffen.

Hoofdstuk IV beschrijft de eigen onderzoekingen. De motieven voor deze experimenten, de methodiek en het resultaat worden achtereenvolgens besproken. Allereerst geldt het een vergelijkend onderzoek naar het vermogen om lengtedisparate en dwarsdisparate punten enkelvoudig waar te nemen (§ 1). Dit wordt met behulp van een eenvoudigen haploscoop onderzocht (zie figuur 29, bladzijde 75), waarin in de eerste plaats lengteverschillen worden op-

gewekt, hetgeen geschiedt door in beide enkele beelden een tweede punt aan te brengen, in elk der twee enkele beelden verschillend ver boven het fixeerpunt. Daarna worden op overeenkomstige wijze breedteverschillen teweeggebracht. De uitkomsten van deze proeven zijn eerst na verscheidene maanden constant.

In overeenstemming met de verwachting worden grootere breedteverschillen dan lengteverschillen versmolten. Het onderscheid is echter minder groot dan men theoretisch zou verwachten. De resultaten blijken verrassend nauwkeurig overeen te stemmen met de door Volkman¹¹⁵⁾ in 1859 gevonden waarden, hetgeen er op wijst, dat door oefening een door de anatomie van het dubbeloog bepaalde limiet is bereikt. Dwarsdisparatie geeft tot zekere grenzen dieptegewaarwording; ook dan wanneer zij niet meer wordt versmolten. Lengtedisparatie geeft wedstrijd der beelden, zodra de punten niet meer tot versmelting komen. Behoudens het kwantitatieve verschil wordt het kwalitatieve onderscheid gevonden. „Gestaltspsychologische” elementen blijken verward te kunnen werken.

Deze eerste proeven hebben slechts een voorbereidend karakter voor de hierna beschreven reeks (§ 2), welke werden verricht met de volgende stelling als leidraad: *Indien het gezichtsorgaan de potentie zou bezitten ruimtelijk horizontale contouren of lijnen even goed als verticale op diepte te kunnen waardeeren, wanneer slechts de oogbollen voldoende konden worden bewogen — dat wil zeggen een dusdanigen stand in het hoofd innemen, dat bij primaire blikrichting lengtedisparatie optreedt — zou dit zijn uitdrukking hierin moeten kunnen vinden, dat een empirische „Querhoropter” kan worden bepaald, welke is te vergelijken met de reeds door vele onderzoekers bepaalde empirische „Längshoropter”.*

Er werd een toestel vervaardigd (zie figuur 30), waarmede zowel een „Querhoropter” als een „Längshoropter” kan worden opgenomen, hetgeen wordt bereikt, doordat de in te stellen draden in het eene geval horizontaal, in het andere geval verticaal zijn uitgespannen. Met dit apparaat worden eerst ter oriëntering een „Fixier-Längshoropter” en een „Wander-Längshoropter” bepaald. Daarna wordt getracht met behulp van een prismacombinatie (zie figuur 31), welke de oogen schijnbaar boven elkander plaatst in het mediane vlak, overeenkomstige „Querhoropteren” op te nemen.

Dit nu blijkt niet mogelijk te zijn. Hiermede is aangetoond, dat lengtedisparatie niet leidt tot eenigen vorm van localisatie. Meer speciaal is bewezen, dat het gezichtsorgaan ook onder andere dan de physiologische omstandigheden, namelijk die, onder welke even groote en gelijkwaardige lengtedisparatie ontstaat als de physiologische dwarsdisparatie, de lengtedisparatie niet vermag te benutten.

In hoofdstuk V zijn de slotbeschouwingen vervat. Allereerst wordt op grond van de in hoofdstuk II opgestelde stelling eenerzijds en de resultaten der proeven uit hoofdstuk IV anderzijds deze gevolgtrekking gemaakt: *de plaats van beide oogbollen in den schedel is op zich zelf niet een voldoende verklaring voor het verschil tusschen de waarde van dwarsdisparatie en lengtedisparatie; het dubbeloog, dus het geheele gezichtsorgaan is voor dit onderscheid verantwoordelijk.* Van een alzijdige symmetrie der gewaarwordingen afkomstig van het gezichtsorgaan kan geen sprake zijn. De ruimtezin, welke evenals de ruimte waarop hij betrekking heeft, alzijdig symmetrisch is, kan deze qualiteit niet verwerven door het gezichtsorgaan.

Vervolgens wordt aannemelijk gemaakt, dat het onderzoek van geopereerde blindgeborenen het probleem der beteekenis van het gezichtszintuig voor den ruimtezin niet zal kunnen oplossen. R é v é s z ⁷⁹⁾ was langs een anderen weg tot dezelfde slotsom gekomen.

De meening wordt geuit, dat vele onderzoekers twee begrippen verwarren en voor elkander gebruiken, te weten *het ruimtegevoel* en *de oriëntering in de ruimte*. Deze twee elementen leiden samen tot *de ruimtevoorstelling*. Het ruimtegevoel achten wij primair. In dit verband wordt gewezen op de opvatting van K a n t ⁴⁷⁾ en S c h o p e n h a u e r ⁹³⁾ over de a priori aanwezige ruimtevoorstelling, welk laatste begrip wordt gedekt met den door ons ingevoerden term ruimtegevoel.

De in hoofdstuk II ontwikkelde theorie over de beperkte symmetrie van het gezichtsorgaan bewijst, dat het alzijdige symmetrische ruimtegevoel zijn oorsprong niet kan vinden in dit orgaan; het kan slechts ontstaan daar, waar een alzijdige symmetrie in bouw en functie is gegeven. Deze wordt in het evenwichtszintuig aange troffen. Q u i x ⁷⁸⁾ baseert op dit feit zijn theorie over het ontstaan

van de physiologische ruimtevoorstelling, waarbij het gezichtsorgaan ondergeschikt wordt geacht aan het vestibulairorgaan. Onze theoretische beschouwingen en experimenten maken de superioriteit van het evenwichtsorgaan boven het gezichtszintuig aannemelijk voor wat betreft het tot stand komen van het primaire ruimtegevoel. Voor de oriëntering in de ruimte wordt aangenomen, dat het oog belangrijker is dan de tastende hand, de „Optik” belangrijker dan de „Haptik”.

Er wordt nog opgemerkt, dat voor een juiste ruimtevoorstelling het noodzakelijk is, dat de oriëntering in de ruimte, dus ook de optische waarnemingen harmonieeren met het *steeds* en *reeds* aanwezige ruimtegevoel. Verbreking van deze harmonie leidt tot een zekere mate van onzekerheid, welke tot een gevoel van onwelzijn kan stijgen. Bij de in hoofdstuk I beschreven proeven heeft men met een dergelijke disharmonie te maken.

Hierna wordt een gedachte uitgesproken over den weg, welken men wellicht zal moeten bewandelen om het probleem der ruimtevoorstelling nader tot een oplossing te brengen. Onze voorstellingen worden opgebouwd door een samenvloeiing van gewaarwordingen, doch deze treden versmolten, als „Gestalt” ons bewustzijn binnen. De physiologische, natuurlijke ruimtevoorstelling is niet optisch, haptisch, statisch of acustisch, maar zonder zintuigelijk kenmerk als zoodanig ruimtelijk.

De eindconclusie kan hierin worden vervat: *Het gezichtsorgaan dient slechts ter oriëntering in de ruimte, doch heeft geen beteekenis voor het primaire ruimtegevoel.*

SUMMARY

A description of the experiments which have led us to the problems having been studied in the preceding pages, forms the introductory remarks to Chapter I (§ 1): When during binocular fixation one eye is covered with the hand and subsequently a movement of adduction is carried out with the eye so covered while the second eye does not change its position — asymmetrical convergence — a very peculiar impression results: one gets the sensation that the whole of space, including the point of fixation, moves in the direction of convergence. The deviation of the finger which at the start of this experiment is directed at the point of fixation, forms the basis for the measurement of the apparent movement of space (experiment A).

A control experiment shows that asymmetrical convergence without the help of optical observation, influences the direction of the pointing finger (experiment B). Study of the literature concerned proves that experiment A is essentially new, experiment B only in so far as asymmetrical convergence is introduced.

Analysis of both experiments led to the problem proper (§ 2). The sensation in connexion with experiment A is caused by a change of egocentric localisation in subjective optical space. A discussion of three theories which describe and define the origin of egocentric localisation follows. Solely the doctrine of the indirect-sensory function of the extra-ocular muscles (Tschermak¹¹⁰) explains the fact brought to light by experiment A.

Added proof of the inter-relation of the organ of vision and the labyrinth is furnished by experiment B, a connexion already well-known, without however having led to authoritative and generally accepted explanation. New facts concerning this inter-relation will have to be gathered, in possession of which an empirical answer can be given to the question whether this is a matter of

equal influence or preponderance of either of these organs, or — again — whether this co-operation should be considered a function of a double organ of sense with new potentialities especially in regard to the sense of space.

Apart from and independent of possible experimental findings, we have considered whether purely theoretical treatment of the problem might not lead to the elucidation of a more intimate relation between the two organs of sense under discussion. Two facts form the basis for this discussion, viz. 1° the space in which we live is — to us — endowed with tri-dimensional character, and 2° an organ, which from this tri-dimensional space receives and integrates in identical and hence symmetrical way stimuli from three dimensions, will obviously furnish a more reliable pattern than an organ which can do this in equivalent manner for two dimensions at best. From this point of view the organ of vision is second to the labyrinth because of its restricted symmetry as compared with an all-round (functional) symmetry of the latter.

Chapter II fully discusses and analyses this restricted symmetry and its consequences for the perception of space. Analysis of geometrical conditions in objective optical space in connexion with the position of the eyes in the head (§ 1) leads to the preliminary conclusion: *If the asymmetrical position of a point in objective space has any significance as such with regard to the eyes, then solely the horizontal determination of that point with reference to the objective median plane (plane of symmetry) can be of influence (Thesis A).*

Then follows mathematical analysis of the connexion between the position of the object in objective space and its image on the retina (§ 2). This gives rise to an elaboration of Thesis A: *Assuming that cross-disparity possesses greater importance for perception of depth than disparity in the vertical meridian, then we may conclude that only the horizontal determination of the position of the point in objective space which stimulates the disparate retinal points, is relevant in connexion with perception of depth in its relation to the objective median plane (Thesis B).*

Next the relative importance of cross-disparity and length-disparity is subjected to a careful survey (§ 3). With reference to one definite object it is shown that under special conditions an

amount of length-disparity to the value of 0.3 of the amount of cross-disparity for the same object may occur. Cross-disparity determines localisation in front of or behind the "Kernplane". A theoretical discussion in § 4 goes to show that length-disparity no more than indicates whether an object is situated in the "Kernplane" or not; the question as to whether this object is situated in front of or behind the "Kernplane" remains open. Moreover, when comparing in the light of the foregoing analysis the accuracy to be obtained in determining whether an object is situated in front of or behind the "Kernplane", we find that even under the most favourable conditions only 0.3 of the accuracy based on cross-disparity observation can be reached.

Hence, we may conclude that for spatial perception cross-disparity and length-disparity cannot possibly be equivalent, and Thesis B, which was preliminary, should read: *In connexion with localisation in depth of a point in objective space, solely the horizontal determination of that point in its relation to the objective median plane is relevant.* This concludes the purely theoretical part.

Chapter III surveys the literature concerning experiments as to the value and occurrence of disparity in the vertical meridian. All authors mentioned give discussions based upon their experiments which were made from widely different motives. Theoretical analysis of the possibilities determined by the structure of the eyes and their position in the head is nowhere to be found, and neither do we find clear insight into the function of the objective median plane as plane of symmetry.

Chapter IV describes our own experiments. Their motives, technique and results are discussed. § 1 gives a description of comparative research into the faculty of single perception with regard to points showing cross- and length-disparity. This is done with the aid of a simple haploscope (fig. 29, page 75), to begin with for the case of length-disparity: in both single images a second point is marked at different levels above the fixation-point. Cross-disparity is realised in a similar way. Constant results are not observed before several months have elapsed.

In accordance with expectation the fusion capacity for cross-disparity is greater than for length-disparity, the difference being smaller than theoretically probable. This is in happy accord with

Volkman's¹¹⁵⁾ findings in 1859, showing a functional limit, determined by the anatomy of the eye. Within certain limits cross-disparity gives a sensation of depth, even after fusion has become impossible. Length-disparity beyond the fusion-limit causes rivalry of the images. Elements related to "Gestaltpsychologie" may cause confusion.

The first series of experiments is meant to pave the way for a second series (§ 2), based on the following considerations: the significance of cross-disparity finds its expression in the determination of a length-horopter. If comparative research into the significance of length-disparity is intended, a cross-horopter should be determined under equal conditions. For the determination of the length-horopter vertical threads are used, the eyes in the natural horizontal juxta-position. Consequently, for the determination of a comparable cross-horopter horizontal threads are wanted with the eyes in vertical juxta-position. The latter condition can be realised optically by means of a prism-combination (see fig. 31). If in this way a cross-horopter could be obtained, we might conclude that the organ of vision possesses the latent faculty of equally accurate localisation of horizontal and vertical contours and lines.

Fig. 30 shows the apparatus devised for the determination of the cross- as well as of the length-horopter, made possible by alternate vertical and horizontal position of the threads. A provisional "Fixier-Längshoropter" and "Wander-Längshoropter" are determined with this instrument, after which the determination of the comparable cross-horopters is attempted. *This however appears to be impossible*, which shows that length-disparity does not lead to any form of localisation. More especially this proves that even under circumstances which are more favourable than the ordinary physiological condition, the organ of vision cannot utilize length-disparity. With these different circumstances we mean those under which length-disparity occurs to an amount of and comparable with physiological cross-disparity.

Chapter V sums up our final considerations. The conclusion derived from our thesis in chapter II and from the experiments described in chapter IV might be stated as follows: *The given position of the eyes in the head is in itself insufficient to explain the difference in value between cross- and length-disparity. In*

reality only the "Doppelaug", that is to say the organ of vision as a whole, can be made responsible for this difference. There is no question of an all-round symmetry of the sensations, derived from the organ of vision. The sense of space, like space to which it is related, is all-round symmetrical, cannot therefore derive this quality from the organ of vision.

Next we come to the conclusion that it must be deemed unlikely that the examination of operated subjects, born blind, will lead to clarification of the relation between organ of vision and sense of space. From a different approach R é v é s z ⁷⁹⁾ concluded likewise.

It is put forward that many authors confuse and interchange two conceptions, viz. the sense of space and the orientation in space, which together lead to consciousness of space. Primary nature is attached to the sense of space. In this connexion reference is made to Kant's ⁴⁷⁾ and Schopenhauer's ⁹³⁾ conception of an aprioristic consciousness of space; this aprioristic consciousness of space conveys a similar meaning as sense of space in our terminology.

The theory evolved in chapter II concerning limited symmetry of the organ of vision, goes to show that the all-round symmetrical sense of space cannot be derived therefrom. Only an organ with three-dimensional symmetry as regards construction and function might fulfil these requirements, and this is the case with the labyrinth. This forms the basis for Quix' ⁷⁸⁾ theory on the evolution of the physiological consciousness of space, wherein the organ of vision takes second place as compared with the labyrinth. We believe that our theoretical considerations and our experiments tend to make it probable that the labyrinth is superior to the organ of vision as regards the synthesis of primary sense of space. Concerning the orientation in space we believe that the eye is of higher importance than the hand with its tactile qualities: "Optik" is more important than "Haptik".

Attention is given to the fact for correct spatial perception orientation in space, including visual observation, must necessarily be in harmony with the sense of space, primarily and continually present. Dissociation of these factors leads to some degree of uncertainty, which may be increased to a feeling of sickness. The experiments in chapter I concern cases of such dissociation.

An effort is made to show a way towards further clarification

of the problem of consciousness of space. Our perceptions are synthesized from confluent sensations, which however enter into consciousness as a whole, that is to say as "Gestalt". Therefore, natural, physiological consciousness of space is neither optical, haptical, statical or acustical, as, because it is devoid of any specific sensory sign, it is spatial in itself.

The final conclusion might be summarized: *The organ of vision subserves orientation in space but is not related to the primary sense of space.*

ZUSAMMENFASSUNG

Im ersten Kapitel wird eine Beschreibung der Versuche, welche zu der Problemstellung führten gegeben (§ 1). Von dem folgenden Versuche wurde ausgegangen: *Wenn man während der binokulären Fixation eines Gegenstandes ein Auge mit der Hand bedeckt und solchermaßen konvergiert, dass nur das bedeckte Auge einwärtsdreht, dieweil das fixierende Auge keine Bewegung macht — asymmetrische Konvergenz —, dann hat man die höchstmerkwürdige Empfindung, dass der ganze Raum inklusive des Fixierpunktes in der Richtung der Konvergenz wegtreibt.*

Das Wegtreiben des Raumes konnte durch Fingerzeigversuche, in denen nach dem Fixierpunkt gezeigt wurde, messend verfolgt werden (Versuch A).

Ein Kontrollversuch bewies, dass die asymmetrische Konvergenz an und für sich, ohne die Hilfe optischer Wahrnehmungen also, die Armbewegungen beim Fingerzeigversuch beeinflusst (Versuch B).

Versuch A ist, wie die Literatur ausweist, neu; Versuch B nur in der beschriebenen Ausführung mit einseitiger Konvergenz.

Die Analyse beider Versuche ergab die eigentliche Problemstellung (§ 2). Die geschilderte Empfindung im Versuch A kommt durch eine Veränderung der egozentrischen Lokalisation im Sehraum zu Stande. Drei Theorien werden besprochen, welche das Zustandekommen dieser egozentrischen Lokalisation beschreiben und festlegen. Nur die Lehre der indirekt-sensorischen Funktion der Augenmuskeln von T c h e r m a k ¹¹⁰) vermag die Wahrnehmung im Versuch A zu erklären. Der Versuch B beweist wiederum den Zusammenhang zwischen dem Seh- und dem Gleichgewichtsorgan, welcher von vielen Forschern erkannt wurde ohne freilich zu befriedigender Übereinstimmung zu kommen. Durch weitere eingehendere Versuche wird diese Beziehung näher unter-

sucht werden müssen, wenn man empirisch-experimentell die Frage zu beantworten versuchen will, ob nur eine Wechselwirkung, eine gegenseitige regulierende Beeinflussung, ein Überwiegen eines der beiden Organsysteme vorliegt oder ob vielmehr das Zusammenarbeiten beider als Tätigkeit eines Doppel-sinnesapparates mit neuen Fähigkeiten und zwar für den Raumsinn anzusehen ist.

Unabhängig von solchen experimentellen Untersuchungen und ihren eventuellen Ergebnissen ergab sich die Frage, ob es nicht möglich sei, rein theoretisch eine nähere Beziehung zwischen beiden Sinnesorganen aufzufinden, ausgehend von der Überlegung, dass *erstens* der Raum, in dem wir leben, sich uns immer als ein dreidimensionaler Raum vorstellt, *zweitens* dass ein Organ, welches durch Reize aus dem dreidimensionalen Raum in drei Dimensionen auf gleiche und somit symmetrische Weise erregt wird, uns über den Raum besser unterrichten kann als ein Organ, welches höchstens durch Reize aus zwei Dimensionen erregt wird. Das Sehorgan ist in dieser Hinsicht dem Vestibulärorgan unterlegen, weil es gegenüber der allseitigen funktionellen Symmetrie des Gleichgewichtsorgans nur eine eingeschränkte Symmetrie besitzt.

Im zweiten Kapitel wird die eingeschränkte Symmetrie des Sehorgans mit allen ihren Folgen für die Raumwahrnehmung ausführlich behandelt und analysiert. Eine Analyse der geometrischen Verhältnisse im Aussenraum in Zusammenhang mit dem Ort der Augen im Kopfe (§ 1) führt zu der vorläufigen Aussage: *Wenn die asymmetrische Lage eines Punktes des Aussenraumes in Bezug auf beide Augen als solche von Bedeutung ist, dann hat nur die horizontale Ortsbestimmung dieses Punktes in Bezug auf die objektive Medianebene (Symmetrieebene) Einfluss (These A).*

Hierauf wird die Beziehung zwischen dem Ort eines Gegenstandes im Aussenraum und seinem Netzhautbild mathematisch entwickelt (§ 2), was zur folgenden Erweiterung der These A führt: *Wenn für die Tiefenlokalisation die Querdisparation eine grössere Bedeutung hat als die Längsdisparation, dann hat nur die horizontale Ortsbestimmung des Punktes des Aussenraumes, welcher die disparaten Netzhautstellen reizt, in Bezug auf die objektive Medianebene Einfluss auf die Tiefenlokalisation (These B).*

Hierauf wird ausführlich die Bedeutung und das Verhalten der Quer- und Längsdisparation dargestellt. Zuerst werden die Voraus-

setzungen untersucht, die zu Quer- und Längsdisparation führen (§ 3). Es wird bewiesen, dass auch unter besonderen Voraussetzungen in Bezug auf einen bestimmten Punkt nur eine Längsdisparation von 0,3 des Querdisparationswertes desselben Punktes entstehen kann. Die Querdisparation verursacht, dass man einen Punkt vor oder hinter der Kernfläche lokalisiert. Eine theoretische Überlegung (§ 4) weist aus, dass die Längsdisparation uns nur unterrichtet über die Lage eines Punktes in der Kernfläche, während unbestimmt bleibt, ob der Punkt vor oder hinter ihr liegt. Ausserdem ist die Genauigkeit, womit der Punkt lokalisiert wird im günstigsten Fall, wie die Analyse zeigt, nur 0,3 der Genauigkeit, welche die Querdisparation über die Lokalisation vor oder hinter der Kernfläche verschafft. Für das räumliche Sehen können daher Quer- und Längsdisparation nicht gleichwertig sein. Die bedingt gestellte These B muss daher ersetzt werden durch die folgende: *Für die Tiefenlokalisierung eines Punktes im Aussenraum hat nur die horizontale Ortsbestimmung in Bezug auf die objektive Medianebene Bedeutung.* Hiermit wird der theoretische Teil abgeschlossen.

Im dritten Kapitel wird eine Literaturübersicht gegeben über alle Versuche, in welchen die Rolle der Längsdisparation untersucht wurde. Alle Autoren stellten Betrachtungen an entsprechend der Art und den Ergebnissen ihrer Versuche, welche aus sehr weit auseinander liegenden Gründen angestellt wurden, eine theoretische Auseinandersetzung über die aus Bau und Lage der Augen im Kopfe resultierenden Möglichkeiten, vor allem aber die Erkenntnis der Bedeutung der objektiven Medianebene als der eigentlichen Symmetrieebene trifft man bei keinem Autor.

Das vierte Kapitel ist eigenen Untersuchungen gewidmet. Versuchsplan, Versuchsanordnung und Versuchsergebnisse werden nach einander behandelt. In erster Linie wurde das Vermögen längs- und querdisparate Punkte einfach zu sehen untersucht (§ 1). Dies wurde mit einem behelfsmässigen Haploskop ausgeführt, (vide Fig. 29, S. 75), wobei vor allem Längsdisparation ausgelöst wurde, indem ein zweiter Punkt mit verschiedenem Abstand vom Fixierpunkt in jedem der beiden Halbbilder angebracht wurde. Hierauf wurden in entsprechender Weise Breitenunterschiede hervorgebracht. Erst nach monatelanger Übung erhält man konstante Resultate.

Entsprechend der Erwartung wurden grössere Breitenunterschiede als Längsunterschiede verschmolzen. Der Unterschied war geringer als man theoretisch erwarten sollte. Die Messergebnisse stimmen ausserordentlich scharf mit den von Volkman¹¹⁵⁾ in 1859 angegebenen überein, was darauf hinweist, dass eine durch Übung und den anatomischen Bau des Doppelauges bestimmte Grenze erreicht wurde. Querdisparation gibt in bestimmten Grenzen Tiefenwahrnehmung, auch dann, wenn die Bilder nicht verschmolzen werden, Längsdisparation gibt Wettstreit der Bilder, sobald die Verschmelzung nicht erreicht wird. Es besteht also neben dem quantitativen auch ein qualitativer Unterschied. Gestaltpsychologische Faktoren können verwirrend wirken.

Nach diesen orientierenden Versuchen wurden in zweiter Reihe (§ 2) Versuche ausgeführt, denen folgende These zu Grunde lag: *Wenn das Sehorgan räumliche horizontale Konturen oder Linien ebenso wie vertikale räumlich wahrnehmen kann, vorausgesetzt, dass die Augen genügend bewegt werden können — was bedeutet, dass sie eine solche Lage im Kopfe einnehmen können, dass bei primärer Blickrichtung Längsdisparation auftritt — dann muss man einen empirischen Querhoropter bestimmen können, der vergleichbar sein muss dem so oft schon ermittelten Längshoropter.*

Es wurde ein Gerät konstruiert (vide Fig. 30), womit der Quer- und der Längshoropter bestimmt werden konnte. Im ersten Fall stehen die Messfaden horizontal, im zweiten vertikal. In Vorversuchen wurde erst der Fixierlängshoropter und der Wanderlängshoropter ermittelt. Hierauf wurden mittels einer Prismenkombination (vide Fig. 31), durch welche die Augen scheinbar über einander in die Medianebene verlegt werden, die entsprechenden Querhoropteren festgelegt. Es zeigte sich, dass man *einen Querhoropter nicht bestimmen kann*. Das zeigt an, dass die Längsdisparation nicht zu einer Lokalisation veranlasst. Im speziellen ist damit bewiesen, dass das Sehorgan auch unter anderen als den physiologischen Umständen, nämlich wenn die Längsdisparation ebenso gross und gleichmässig ist wie die physiologische Querdisparation, erstere nicht lokalisatorisch verwenden kann.

Im fünften Kapitel werden die gesammten aus dem niedergelegten Material sich ergebenden Schlussfolgerungen dargelegt. Zuerst wird auf Grund der im 2. Kapitel aufgestellten These und den

Ergebnissen der Versuche des 4. Kapitels der folgende Schluss gemacht: *Der Augenort im Kopfe begründet an und für sich nicht den Unterschied zwischen Quer- und Längsdisparation. Das Doppelauge, das gesamte Sehorgan also, ist für diesen Unterschied verantwortlich.* Von einer allseitigen Symmetrie der visuellen Wahrnehmung kann nicht die Rede sein. Der Raumsinn, der wie der Raum, den er erschliesst, allseitig symmetrisch ist, kann diese Qualität nicht dem Sehorgan verdanken.

Es wird dann gezeigt, dass die Untersuchung operierter Blindgeborener das Problem der Bedeutung des Sehorgans für die Raumwahrnehmung nicht zu lösen vermag, zu welchem Ergebnis auf anderem Wege auch Révész⁷⁹⁾ kam.

Es wird endlich ausgeführt, dass viele Forscher zwei Begriffe mit einander verwechseln und durch einander gebrauchen, nämlich *Raumgefühl* und *Raumorientierung*. Beide ergeben die *Raumvorstellung*. Das Raumgefühl wird als primär hingestellt. In diesem Zusammenhang wird auf die im Sinne von Kant⁴⁷⁾ und Schopenhauer⁹³⁾ a priori vorhandene Raumvorstellung rekuriert, welcher Begriff sich mit dem hier eingeführten Terminus Raumgefühl deckt.

Nach der im 2. Kapitel entwickelten Theorie von der eingeschränkten Symmetrie des Sehorgans kann das allseitig symmetrische Raumgefühl nicht im Sehorgan begründet sein, es kann nur dort entstehen, wo eine allseitige Symmetrie in Bau und Funktion vorhanden ist. Sie besitzt das Gleichgewichtssinnesorgan. Hierauf basiert Quix⁷⁸⁾ seine Theorie über das Entstehen der physiologischen Raumvorstellung, in welcher das Sehorgan dem Vestibulärorgan untergeordnet erscheint. Die hier niedergelegten theoretischen Auseinandersetzungen und Experimente machen die Superiorität des Gleichgewichtssinnesorgans über das Sehorgan plausibel, insofern es sich um das Entstehen des primären Raumgefühl handelt. Für die Raumorientierung erscheint das Auge wichtiger als die tastende Hand, die Optik der Haptik überlegen.

Schliesslich wird ausgeführt, dass für die richtige Raumvorstellung nötig ist, dass die Raumorientierung, somit auch die optischen Raumwahrnehmungen, harmonieren mit dem immer und schon primär vorhandenen Raumgefühl. Störungen dieser Harmonie gehen mit solchen Unlustgefühlen einher, dass ein Zustand der Verwirrung

eintreten kann. Die im 1. Kapitel beschriebenen Versuche demonstrieren solche Disharmonien.

Es wird noch der Versuch gemacht den Weg zur Lösung des Raumvorstellungsproblems zu weisen. Unsere Vorstellungen entstehen aus Empfindungen und Wahrnehmungen, doch treten diese verschmolzen als Gestalten in unser Bewusstsein. Die physiologische, natürliche Raumvorstellung ist darum nie optisch, haptisch, statisch oder akustisch, sondern ohne Sinnesqualität an sich räumlich gestaltet.

Es ergibt sich somit als Resultat: *Das Sehorgan dient nur zur Raumorientierung, hat aber keine Bedeutung für das primäre Raumgefühl.*

LITTERATUUR

1. Albada, L. E. W. van, Arch. f. Ophth. 54, 430, 1902.
2. Aubert, H., Physiologie der Netzhaut. Breslau, 1865.
3. ——— Physiol. Optik. Graefe-Saemischs Handb. d. ges. Augenh. II 2, 393.
4. ——— en Y. Delage, Physiologische Studien über die Orientierung. Tübingen 1888.
5. Bárány, R., Verh. d. Gesellsch. deutsch. Naturforsch. 1, 323, 1913.
6. ——— Acta oto-laryngolog. 4, 94, 1922.
7. Bourdon, B., La perception visuelle de l'espace. Parijs 1902.
8. ——— Revue philosoph. 35, 1, 1900.
9. Classen, A., Über den Einfluss Kants auf die Theorie der Sinneswahrnehmung. Leipzig 1886.
10. Cords, R., Ztschr. f. Augenh. 27, 346, 1912.
11. Cyon, E. von, Arch. f. d. ges. Phys. 29, 1897.
12. Donders, F. C., Arch. f. Ophth. 13 1, 1, 1867.
13. ——— Arch. f. Ophth. 16, 154, 1870.
14. ——— Arch. f. Ophth. 17 2, 1, 1871.
15. ——— Arch. f. Ophth. 18 2, 153, 1872.
16. ——— Onderz. Phys. Lab. Utrecht III, 1875.
17. ——— Arch. f. Ophth. 21 1, 125, 1875.
18. ——— Arch. f. Ophth. 21 3, 100, 1875.
19. ——— Arch. f. d. ges. Phys. 13, 399, 1876.
20. ——— Arch. f. Ophth. 23 2, 255, 1877.
21. Einthoven, W., Arch. f. Ophth. 31 3, 211, 1885.
22. ——— Pfügers Arch. 71, 1, 1898.
23. ——— Pfügers Arch. 71, 7, 1898.
24. Erggelet, H., Klin. Monatsbl. f. Augenh. 66, 685, 1921.
25. Fechner, G. T., Elemente der Psycho-Physik. Leipzig 1860.
26. ——— Abhand. d. Kön. Sächs. Ges. d. Wiss., Math.-Phys. Cl. 5, 339, 1861.
27. Fischer, Br., Wien. Klin. Wochenschr. 31, 1169, 1914.
28. Fischer, F. P., Pfügers Arch. 204, 203, 1924.
29. ——— Arch. f. Ophth. 114, 441, 1924.
30. ——— Arch. f. Augenh. 97, 174, 1926.
31. ——— en J. W. Wagenaar, Ophthalmologica (in druk).
32. Fischer, M. H., Pfügers Arch. 188, 161, 1921.
33. ——— Zentralbl. f. d. ges. Ophth. 34, 465, 1935.
34. Fleischer, E., Ztschr. f. Psychol. 147, 65, 1939.

35. Gelb, A. en K. Goldstein, Psychol. Analysen hirnpatholog. Fälle. Leipzig 1920.
36. ——— Ztschr. f. Psychol. 83, 1, 1920.
37. Gloor, A., Schweiz. med. Wochenschr. 1939 II, 1120.
38. Hasner, J. Ritter von, Über das Binokularsehen. Praag 1859.
39. Heine, L., Berichte Ophth. Gesellsch. Heidelberg (1903), 179, 1904.
40. ——— Arch. f. Ophth. 51, 146, 1900.
41. Helmholtz, H. von, Handb. d. Physiol. Optik. 1e druk 1856—1866. 3e druk bewerkt door J. v. Kries 1909—1910.
42. Hering, E., Der Raumsinn und die Bewegungen des Auges, Hermanns Handb. d. Physiologie 1879.
43. Herzau, W. en K. N. Ogle, Arch. f. Ophth. 137, 327, 1937.
44. Hofmann, F. B., Die Lehre vom Raumsinn. Graefe-Saemischs Handb. d. ges. Augenh. 2e druk 1920—1925.
45. ——— Raumsinn des Auges. Tigerstedts Handb. d. physiol. Methodik. Leipzig 1914.
46. Hillebrand, F., Lehre v. d. Gesichtsempfindungen. Weenen 1929.
47. Kant, I., Kritik der reinen Vernunft. Leipzig 1799.
48. Kiss, J., Ztschr. f. d. ges. Neurol. u. Psych. 65, 14, 1921.
49. Köllner, H., Arch. f. Augenh. 88, 117, 1921.
50. ——— Arch. f. Augenh. 89, 67, 1921.
51. ——— Arch. f. Augenh. 89, 121, 1921.
52. Kothe, R., Arch. f. Augenh. 49, 338, 1903.
53. Kries, J. von, Ztschr. f. Psychol. 44, 165, 1909.
54. Küster, F., Arch. f. Ophth. 221, 149, 1876.
55. Mach, E., Die Analyse der Empfindungen. Jena 1911.
56. Mandelstamm, L., Arch. f. Ophth. 18 z. 133, 1872.
57. Marx, E., Ned. Tijdschr. v. Gen. 1912 II, 656.
58. ——— Ztschr. f. Sinnesphysiol. 47, 79, 1913.
59. ——— en W. Trendelenburg, Ztschr. f. Sinnesphysiol. 45, 87, 1911.
60. Meissner, G., Beiträge zur Physiologie des Sehorgans. Leipzig 1843.
61. Meyer, H., Arch. f. Ophth. 2 z. 92, 1856.
62. Meulen, J. E. van der, Stereoscopie bij onvolkomen gezichtsvermogen. Dissert. Utrecht 1873.
63. ——— Arch. f. Ophth. 191, 101, 1873.
64. ——— en J. C. van Dooremaal, Arch. f. Ophth. 191, 137, 1873.
65. Mulder, M. E., Arch. f. Ophth. 21, 68, 1875.
66. ———, Arch. d'Ophth. 17, 465, 1897.
67. Müller, G. E., Ztschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorg. Erg. Bd. 9, 1917.
68. Müller, J. J., Arch. f. Ophth. 14 z. 183, 1868.
69. Nagel, A., Das Sehen mit zwei Augen und die Lehre von den identischen Netzhautstellen. Leipzig 1861.
70. Ogle, K. N., Arch. of Ophth. 20, 604, 1938.
71. ——— Arch. of Ophth. 21, 604, 1939.
72. ——— Arch. of Ophth. 22, 613, 1939.
73. ——— Arch. of Ophth. 22, 1046, 1939.
74. Panum, P. L., Physiologische Untersuchungen über das Sehen mit zwei Augen. Kiel 1858.

75. Polliot, Arch. d'Ophth. 39, 83, 1922.
76. Quix, F. H., Ztschr. f. Hals-, Nasen- u. Ohrenheilk. 8, 516, 1924.
77. ——— Les méthodes d'examen de l'organe vestibulaire. Parijs 1929.
78. ——— Beschouwingen over de physiologische ruimtevoorstelling. Rede. Utrecht 1940.
79. Révész, G., Die Formenwelt des Tastsinnes. Den Haag 1938.
80. ——— Het psychologische ruimteprobleem. Rede. Amsterdam 1932.
81. ——— Acta Psychologica III 1937.
82. Roelofs, C. Otto, Ned. Tijdschr. v. Gen. 1918 I, 788 en 1616.
83. ——— Arch. f. Ophth. 104, 133, 1921.
84. ——— en W. P. C. Zeeman, Arch. f. Augenh. 98, 238, 1917.
85. ——— en ——— Arch. f. Ophth. 99, 79, 1919.
86. Sachs, M. en R. Wlassak, Ztschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorg. 22, 32, 1899.
87. Schmidt-Rimpler, H., Wien. Med. Wochenschr. 43, 1899.
88. ——— Zentralbl. f. prakt. Augenh. 26, 1, 1902.
89. Schoeler, H., Arch. f. Ophth. 19 1, 1, 1873.
90. Schön, W., Arch. f. Ophth. 24 1, 27, 1878.
91. Schole, H., Ztschr. f. Psychol. 107, 314, 1928.
92. ——— Ztschr. f. Psychol. 108, 85, 1928.
93. Schopenhauer, A., Über den Satz vom zureichenden Grunde. (E. Grisebach) Leipzig 1891.
94. Schoute, G. J., Ztschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorg. 19, 251, 1898.
95. ——— Ned. Tijdschr. v. Gen. 1910 I, 11.
96. Schriever, W., Ztschr. f. Psychol. 96, 113, 1925.
97. Schubert, G., Pflügers Arch. 205, 637, 1924.
98. ——— Pflügers Arch. 215, 553, 1927.
99. ——— Pflügers Arch. 216, 580, 1927.
100. ——— Pflügers Arch. 220, 300, 1928.
101. Schuurman, Vergelijkend onderzoek der bewegingen van het oog. Dissert. Utrecht 1863.
102. Snellen, H. en E. Landolt, Ophthalmometrie. Graefe-Saemischs Handb. d. ges. Augenh. III 1, 1, 1874.
103. Straub, M., Ztschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorg. 36, 431, 1905.
104. ——— De plaats van het bewustzijn in de theorie van het zien. Rede. Amsterdam 1910.
105. Stumpf, C., Über den psychologischen Ursprung der Raumvorstellung. Leipzig 1873.
106. Thorner, W., Die Theorie des Augenspiegels. Berlin 1903.
107. Tschermak, A., Optischer Raumsinn. Bethes Handb. d. norm. u. path. Physiologie. Berlin 1931.
108. ——— Methodik des optischen Raumsinnes und der Augenbewegungen. Abderhaldens Handb. d. biol. Arbeitsmethod. Berlin 1937.
109. ——— Pflügers Arch. 81, 328, 1900.
110. ——— Arch. f. Ophth. 55, 1, 1903.
111. ——— Pflügers Arch. 241, 455, 1939.

112. Verwey, A., Arch. f. Augenh. 66, 93, 1910.
 113. ——— Arch. f. Augenh. 67, 427, 1911,
 114. ——— Ned. Tijdschr. v. Gen. 1918 I, 785.
 115. Volkmann, A. W., Arch. f. Ophth. 52, 1, 1859,
 116. ——— Ber. d. Kön. Sächs. Ges. d. Wiss., Math.-Phys. Cl. 21, 28, 1869.
 117. Wagenaar, J. W., Ned. Tijdschr. v. Gen. 1940, 2498.
 118. Weinhold, M., Arch. f. Ophth. 54, 201, 1902.
 119. Wheatstone, Ch., Pogg. An. d. Physik, Erg. Bd. 1, 1842.
 120. Witasek, S., Psychologie der Raumwahrnehmung des Auges. Heidelberg 1910.
 121. Wodak, E. en M. H. Fischer, Monatschr. f. Ohrenh. Laryngo-Rhinolog.
58, H1, 5, 6, 1924.
 122. ——— Monatschr. f. Ohrenh. u. Laryngo-Rhinolog. 58, H12, 1924.
 123. Wundt, W., Philosoph. Studien 14, 1, 1898.
 124. ——— Grundzüge der physiologischen Psychologie. Leipzig 1910.
-

INHOUD

BLADZ.

Inleiding	9
Hoofdstuk I. Over de probleemstelling	
§ 1. Beschrijving van de proeven, welke tot de probleemstelling leidden	11
§ 2. Probleemstelling aan de hand van een analyse der beschreven proeven	16
Hoofdstuk II. Over de verhouding van het dubbeloog tot de objectieve gezichtsruimte. Theoretische beschouwingen	
§ 1. De geometrische verhoudingen in de objectieve gezichtsruimte in verband met de plaats van de oogen in den schedel	30
§ 2. Het verband tusschen de plaats van het voorwerp in de objectieve ruimte, en de afbeelding op het netvlies	36
§ 3. Analyse der voorwaarden, onder welke zich dwarsdisparatie en lengtedisparatie voordoen	41
§ 4. De beteekenis der lengtedisparatie	53
Hoofdstuk III. Litteratuuroverzicht	
Bespreking van proeven met betrekking tot de beteekenis van lengtedisparatie. Critische analyse van desbetreffende studies van Panum, Helmholtz, e.a.	57
Hoofdstuk IV. Eigen onderzoekingen	
§ 1. Vergelijkend onderzoek naar het vermogen om lengtedisparate en dwarsdisparate punten enkelvoudig waar te nemen	73
§ 2. Vergelijkend onderzoek naar een lengtehoropter eenerzijds en een dwarshoropter onder analoge omstandigheden bepaald anderzijds	82
Hoofdstuk V. Slotbeschouwingen	
Samenvatting	98
Summary	104
Zusammenfassung	110
Litteratuur	116

STELLINGEN

I

Het gezichtsorgaan dient slechts ter oriëntering in de ruimte, doch heeft geen betekenis voor het primaire ruimtegevoel.

II

Het begrip „Panumsche Empfindungskreis” wordt vaak onjuist gebezigd.

III

De uitdrukking nephrose sticht verwarring. Het verdient aanbeveling haar niet te gebruiken.

IV

Bij een laagzittenden uretersteen verdient extractie met den lus-catheter volgens Zeiss de voorkeur boven een operatieve behandeling.

V

Alvorens tot een meer ingrijpende behandeling van de endometriose over te gaan trachte men verbetering te bereiken met injecties van testosteron.

VI

Spasmophilie bij pasgeborenen is niet van parathyreoopriven, doch van cerebralen oorsprong.

VII

De pyogene eigenschappen van staphylococcus aureus zijn te wijten aan het specifieke polysaccharide uit deze bacteriën.

Revue d'Immun. VI, 307, 1940—1941.

VIII

De mestcellen van Ehrlich in de omgeving van den limbus corneae hebben wellicht beteekenis voor de bloedstolling in de voorste oogkamer.

IX

Reglementeering der prostitutie is van geen waarde als maatregel ter bestrijding der geslachtsziekten.

X

Bij voedselweigering door psychotische patienten dient het bestaan eener endocrine stoornis nauwkeurig te worden nagegaan.

XI

Een nauwkeuriger onderzoek over de functie van den neus bij de ademhaling is aanbevelenswaardig.

XII

De noodzakelijk geworden splitsing der geneeskundige wetenschappen maakt de verdediging van stellingen door den promovendus van twijfelachtige waarde.

