

(Aus dem physiologischen Institute der deutschen Universität zu Prag.)

# Die Stabilität der Raumwerte auf der Netzhaut.

Von

Dr. FRANZ HILLEBRAND,

Privatdocenten der Philosophie an der Universität zu Wien.

## I. Vorbemerkungen und Problemstellung.

§ 1. Zum richtigen Verständnis der Frage, welcher die folgenden Erörterungen gewidmet sind, ist es nötig, einige elementare Definitionen und Erfahrungen aus der Lehre von den optischen Raumanschauungen dem Leser ins Gedächtnis zurückzurufen.

Vor allem muß unterschieden werden zwischen dem Sehraum mit seinen Relationen und dem wirklichen Raum mit seinen Relationen, und dementsprechend zwischen Sehding und wirklichem Ding (Namen, die ich der Terminologie HERINGS<sup>1</sup> entnehme). Ein quadratisches Objekt kann (in perspektivischer Verkürzung) als Trapez erscheinen, ein krummer Stab bei geeigneter Lage als gerader, eine größere Gerade bei geeigneter Entfernung als kleinere und dergleichen mehr. Die Sehdinge sind in diesen Beispielen: ein Trapez, ein gerader Stab, eine vergleichsweise zu einer andern kleinere Gerade etc. Wir können statt Sehding ebensogut auch Empfindungsinhalt sagen; denn nichts anderes ist gemeint als das Objekt, wie es sich in der Empfindung selbst darstellt, ganz abgesehen von unserem sonstigen Wissen über den betreffenden äußeren Gegenstand.

---

<sup>1</sup> HERING, Lehre vom Raumsinn des Auges in *Hermanns Handb.* III. Bd. 1. T. pag. 343 ff.

Die räumlichen Eigenschaften, die wir dem wirklichen Dinge zuschreiben, sind nicht durch den augenblicklichen Empfindungsinhalt allein bestimmt, sondern durch diesen im Vereine mit einer Reihe früherer Empfindungen derselben oder verschiedener Gattung, die wir mit ihm in Beziehung setzen — durch gesetzmäßige Erfahrungen (unter Umständen etwa auch durch den Glauben an die Aussagen anderer) und dergleichen mehr. Wenn wir z. B. die Lage eines quadratischen Objektes willkürlich ändern, so wechselt das Sehding kontinuierlich; dem wirklichen Dinge schreiben wir nichtsdestoweniger eine bestimmte Gestalt zu, die quadratische, weil wir aus der Erfahrung wissen, daß gerade diese Reihe von Sehdingen nur durch Lageänderungen eines quadratischen Dinges hervorgebracht werden kann. Ein bestimmtes Sehding, isoliert betrachtet und sozusagen aus der Kontinuität der Empfindungen herausgerissen, würde uns über die räumliche Beschaffenheit des wirklichen Dinges keinen eindeutigen Aufschluß geben; wir gewinnen diesen erst aus einer Vielheit zu einander in Beziehung gesetzter Empfindungen.

Anmerkung. Man sieht wohl, daß diese gemeinverständliche Unterscheidung von jeder metaphysischen Präsumption freigehalten werden kann und daß man bei dem Ausdruck „wirkliches Ding“ noch lange nicht an ein „Ding an sich“ zu denken braucht. Das „wirkliche Ding“ braucht hier nicht anders denn als ein aus reproduzierten Empfindungen konstruiertes Vorstellungsgebilde aufgefaßt zu werden; ein Hinausgehen über eine bloß phänomenalistische Auffassung ist (wenigstens für die Zwecke dieser Unterscheidung) durchaus nicht notwendig. — Auf die psychologischen Unterschiede einer Empfindung und eines derartig aufgebauten Vorstellungsgebildes ist hier nicht der Ort näher einzugehen.

§ 2. Eine andere, mehr terminologische Feststellung scheint mir noch zur Vermeidung von Mißverständnissen nötig. Sie betrifft die Ausdrücke „Täuschung“, „Urteilstäuschung“ u. dergl.

Einem bestimmten Sehdinge (für sich genommen) können im allgemeinen ganz verschiedene wirkliche Dinge entsprechen. Um beim früheren Beispiele zu bleiben, so könnte dem gesehenen Trapez ein wirkliches Trapez von bestimmter Gestalt, Größe und Lage entsprechen; ebenso aber ein Quadrat von bestimmter Größe und Lage, ebenso ein bestimmtes Rhomboid u. dergl.

Wenn uns bei einer bestimmten Lage das (wirkliche) Quadrat als Trapez erscheint, so ist das Urteil, das „wirkliche“ Ding sei ein Trapez, falsch, weil die Änderungen, welche das Sehding erfährt, nur solcher Art sind, wie sie die Projektion eines Quadrates durchmacht, wenn dessen Lage geändert wird.

Dieses falsche Urteil kann man „Täuschung“ nennen, im selben Sinne, in dem es eine „Täuschung“ ist, wenn einer meint, er könne ein Spiegelbild mit der Hand fassen.

Dafs eine „Täuschung“ über die räumliche Beschaffenheit des wirklichen Dinges in noch ganz anderer Weise hervorgebracht werden kann, dürfte aus den sogleich folgenden Überlegungen hervorgehen.

§ 3. Der Ort einer Gesichtsempfindung wird im allgemeinen nicht blofs durch die Besonderheit des äufseren Reizes (also sozusagen von der Peripherie aus) bestimmt, sondern auch durch die verschiedenartigsten psychischen Motive (also durch centrale Einwirkungen), wohin vor allem die erfahrungsmäßigen Motive der Lokalisation zu rechnen sind. So ist es möglich, dafs z. B. eine perspektivische Zeichnung, namentlich wenn sie kompliziert ist, gar nicht als solche aufgefaßt, sondern einfach als ein in der Ebene des Papiere oder der Tafel liegendes System von Linien gesehen wird. Wer, wie man sagt, die Figur „versteht“, lokalisiert die einzelnen Teile in verschiedene Tiefe; und wenn es sich etwa noch dazu um sogen. invertierbare Figuren handelt, so kann sogar in jener Tiefenlokalisation ein Wechsel eintreten. Es liefsen sich eine Menge von Beispielen anführen, in welchen die Lokalisation, wie sie durch den blofsen Reiz (also peripher) bedingt ist, durch anderweitige — centrale — Einflüsse Modifikationen erleidet, u. zw. je nach Umständen verschiedene Modifikationen.

Man hat in solchen Fällen häufig von einer verschiedenen „Beurteilung“, „Auslegung“, „Deutung“ des in der Empfindung Gegebenen gesprochen, indem man sich dabei den Empfindungsinhalt als streng genommen unmodifizierbar dachte und erfahrungsmäßige (ja überhaupt psychische) Einflüsse auf die Lokalisation, wie sie durch den Reiz gegeben ist, nur insofern gelten liefs, als sie sich in einem an die Empfindung geknüpften Urteile äufsern sollten.

Diese Auffassung scheint mir indessen, wenn sie nicht geradezu unmöglich ist, doch mindestens den Sachverhalt unnötig zu komplizieren:

1. Einmal nämlich ist eine derartige Modifikation des Empfindungsinhaltes anschaulich und tritt mit der ganzen Energie eines sinnlichen Eindruckes auf. Der Vorgang trägt einen ganz anderen Charakter an sich als derjenige, bei welchem dem Gegenstande einer Empfindung ein im Inhalt nicht gelegenes Merkmal associativ beigelegt wird, wie etwa wenn ich einem gesehenen Gegenstande infolge früherer Erfahrung einen bestimmten Geschmack beilege; denn jene Geschmacksqualität ist in der That gar nicht anschaulich gegeben.

2. Wenn die Erfahrung (oder sonstige psychische Einflüsse) einen durch den Reiz bestimmten Inhalt *a* nicht modifizieren, sondern ihm lediglich ein Urteil anschließen soll, welches besagt, das eben Empfundene sei *b*, so muß doch dieses Urteil eine Materie haben, und zwar die Materie *b*. Ein zu *b* modifiziertes *a* ist also jedenfalls als Inhalt im Bewußtsein. Wozu soll man nun noch ein außerdem im Bewußtsein vorhandenes *a* annehmen, wenn man an dem Inhalt *b* doch nicht vorbeikommt? Ja noch mehr. Es handelt sich in unserem Falle nicht darum, daß der durch die Empfindung gegebene Inhalt auf dem Wege des Urteils eine Ergänzung erfährt, sondern darum, daß er modifiziert wird, also Bestimmungen erhält, die seinen ursprünglichen widersprechen, wie z. B. wenn eine perspektivische Zeichnung als in die Tiefe sich erstreckend „beurteilt“ wird. Hier müßte die Materie des Urteils notwendig widersprechende Bestimmungen enthalten und somit jedes durch die Erfahrung modifizierte Wahrnehmungsurteil eo ipso falsch sein. Die Annahme, daß die Erfahrung den Sinnesinhalt selbst nicht modifiziere, sondern ihm nur ein mit einer modifizierenden Bestimmung versehenes Urteil anschliesse, ist also nicht nur überflüssig, sondern unmöglich.

3. Für denjenigen, welcher am psychophysischen Parallelprinzip festhält, ist die Annahme eines durch die Erfahrung (oder andere psychische Einflüsse) modifizierten Sinnesinhaltes außerordentlich einfach und naheliegend. Denn wie die Empfindung selbst, so muß auch die Erfahrung ein psychophysisches Korrelat besitzen. Was liegt hier näher als die Annahme, daß der psychophysische Vorgang, der einer



Empfindung zu Grunde liegt, nicht durch den Reiz allein, sondern auch durch die Beschaffenheit der psychophysischen Substanz bestimmt wird? Wenn aber frühere Erfahrungen überhaupt von Einfluß sein sollen, so kann dies physiologisch wohl nicht anders gedacht werden, als in der Weise einer Änderung der Beschaffenheit der psychophysischen Substanz.

So viel um die Ansicht zurückzuweisen, daß Erfahrungen oder sonstige Motive, die man zu den „psychischen“ zu rechnen pflegt, einen Sinnesinhalt nicht im eigentlichen Sinne zu modifizieren vermöchten.<sup>1</sup>

§ 4. Die folgende Überlegung schließt an das eben Erörterte als unmittelbare Konsequenz an.

Die periphere Erregung ist unter keinen Umständen das Einzige, was die Empfindung bestimmt; die Beschaffenheit oder Disposition der psychophysischen Substanz kommt offenbar als zweites, ebenso wirksames Moment mit dazu, so daß gleichen peripheren Erregungen vermöge eventueller Ungleichheiten in der Disposition der psychophysischen Substanz ungleiche Empfindungen entsprechen können.

Ein solches Zusammenwirken der peripheren Erregung mit der sozusagen centralen Disposition müssen wir eben so annehmen beim ersten Sehakte des Neugeborenen wie bei jedem beliebigen Sehakte des Erwachsenen. Die wesentliche Verschiedenheit aber, die zwischen beiden Sehakten besteht, liegt darin, daß die Disposition der psychophysischen Substanz beim Sehakt des Erwachsenen eine andere ist vermöge der Änderungen, welche durch die Gesichtsempfindungen des vorausgegangenen Lebens gesetzt worden sind. Was speziell die Raumanschauungen betrifft, so werden alle diese Änderungen im weiteren Sinne als die empirischen Motive der Lokalisation bezeichnet. So lokalisieren wir

---

<sup>1</sup> Daß die primitive Empfindung eine Umbildung im eigentlichsten Sinne des Wortes erleiden kann, hat schon VOLKMANN (*Arch. f. Ophthalm.* V. Bd. 2. Abtlg. pag. 61 und 67) behauptet. Später hat HERING (*Hermanns Handb.* III. Bd. I. T. pag. 565 ff.) diese Ansicht aus allgemeinen physiologischen Gesichtspunkten entwickelt und besonders (*ibid.* pag. 568) auf die Unnötigkeit der Annahme einer neben der thatsächlichen Anschauung noch vorhandenen „reinen Empfindung“ hingewiesen. Vgl. dazu auch die ausführlichen Erörterungen STUMPFs über die „Veränderung der Empfindung durch Phantasie und Erfahrung“ in dessen Buche: „*Ueber den psychologischen Ursprung der Raumvorstellung*“ Leipzig 1873, pag. 208 ff.

bekannte Gegenstände auch monokular ziemlich richtig in die Tiefe. Der Tiefenwert einer solchen Empfindung ist nicht durch die Besonderheit der peripheren Erregung bestimmt, sondern durch centrale Dispositionen, die ihrerseits hervorgerufen sind durch eine Reihe von Empfindungen desselben Aufsendinges.

Diese centralen (dispositionellen) Bedingungen scheiden sich nun naturgemäß in zwei Arten: in solche, welche immer wirksam sind, gleichgültig, welches die periphere Erregung sei, die die neue Empfindung hervorruft, und solche, die nur bei bestimmten peripheren Erregungen zur Wirkung kommen.

Beispiele werden diese Unterscheidung klar machen.

Der Akt der Konvergenz, welcher erforderlich ist, um einen leuchtenden Punkt in einem dunklen Raume zu fixiren, bestimmt dessen Tiefe im Sehraume, die durch die periphere Erregung für sich nicht bestimmt wäre. Die vom Centrum ausgehende Lokalisation findet immer statt, gleichgültig, welcher Art die Erregung sei, die an den Stellen des deutlichsten Sehens auftritt.

Ganz anders, wenn es sich um die (schon beim monokularen Sehen in Betracht kommende) Lokalisation eines bekannten Gegenstandes handelt. In dem Umstande, daß der Gegenstand bekannt ist, liegt schon eingeschlossen, daß es sich hier um ein Motiv der Lokalisation handelt, welches nur wirksam ist, wenn die periphere Erregung gewisse Bedingungen erfüllt. Bei einem Gegenstande, der uns im früheren Leben nie untergekommen ist, würde selbstverständlich dieses Motiv der Lokalisation nicht auftreten können.

Wiederum verhält es sich ähnlich mit der Lokalisation auf Grund der Perspektive. Ein einzelner Lichtpunkt, eine homogene, das ganze Gesichtsfeld ausfüllende Fläche kann keine perspektivischen Verkürzungen zeigen; d. h. wir haben es auch hier wieder mit einem Motiv der Lokalisation zu thun, welches nur dann wirksam wird, wenn die periphere Erregung (oder das Netzhautbild) gewisse Eigenschaften hat.

Diese letzteren Motive der Lokalisation, die man als Erfahrungsmotive im engeren Sinne bezeichnen kann, lassen sich also im einzelnen Falle ausschließen.

Wir wollen die Empfindung, wie sie auftritt, wenn jene Motive nicht wirksam sind, als primitive Empfindung

bezeichnen und ihr diejenige Empfindung, welche entsteht, wenn jene Motive wirksam werden, als modifizierte Empfindung gegenüberstellen.

Wenn wir — um ein erläuterndes Beispiel beizufügen — die geraden Linien, aus denen eine perspektivische Zeichnung zusammengesetzt ist, jede einzeln betrachten, so erscheint jede in der Ebene des Papiere; wird die ganze Zeichnung betrachtet, so treten gewisse Linien vor, andere zurück, obwohl sich das Netzhautbild (und damit die periphere Erregung) keiner einzigen Linie geändert hat. Die Empfindung der isoliert betrachteten und in die Ebene des Papiere lokalisierten Linien bezeichnen wir als primitive, die Empfindung derselben Linien, wenn sie im Zusammenhang gesehen und in verschiedene Tiefe lokalisiert werden, als modifizierte Empfindung.

Es ist aus dem Vorhergehenden klar, daß der Begriff „primitive Empfindung“ ein relativer ist. Nur mit Bezug auf den Ausschluss derjenigen, nicht in der peripheren Erregung begründeten, Ursachen der Lokalisation, die sich überhaupt ausschließen lassen (vgl. oben pag. 6), nennen wir die Empfindung primitiv, und halten uns dabei stets gegenwärtig, daß es auch im früheren Empfindungsleben erworbene Momente giebt (oder geben kann), die wir nicht auszuschließen vermögen. In diesem Sinne ist also die primitive Empfindung nicht notwendig identisch mit derjenigen, welche etwa der Neugeborene haben würde, wenn sich auf seiner Netzhaut derselbe Vorgang abspielt, wie beim erwachsenen Individuum.

Nun sieht man aber sofort, daß eine Täuschung über das „wirkliche Ding“ nicht nur (wie in dem Beispiele pag. 2 f.) darauf beruhen kann, daß eine primitive Empfindung dem wirklichen Dinge nicht entspricht, sondern auch darauf, daß, während die primitive Empfindung dem wirklichen Dinge entsprechen würde, dieselbe solche zentrale Modifikationen erleidet, daß sie nunmehr dem wirklichen Dinge nicht entspricht.

So verhält es sich unter anderem mit dem erwähnten Beispiele von der perspektivischen Zeichnung. Wenn hier die Täuschung entsteht, als sei in der That ein körperliches Objekt vorhanden, so liegt dies lediglich an der centralen Modifikation. Wäre diese nicht vorhanden, sondern träte die

primitive Empfindung ins Bewußtsein, dann würde diese ein ebenes Liniensystem, also das darstellen, was in Wirklichkeit gegeben ist.<sup>1</sup> Im Sehding als solchem, d. h. in der Empfindung, wie sie wirklich im Bewußtsein auftritt, ist natürlich kein Hinweis darauf gegeben, ob wir es mit einer primitiven oder einer bereits modifizierten Empfindung zu thun haben; wohl aber kennen wir eine ganze Anzahl von Momenten, welche die Empfindung anders werden lassen, als sie lediglich auf Grund der Netzhauterregung ausfallen würde.<sup>2</sup> Wir sind darum im stande, diese Momente im Experiment auszuschließen und so die Empfindung von derartigen Modifikationen zu befreien. In diesem Sinne sind auch die später zu erwähnenden Versuche eingerichtet.

Anmerkung. Um Mißverständnissen zu begegnen, möchte ich gleich hier erwähnen, daß die obige Scheidung zwischen primitiver und modifizierter Raumempfindung noch keineswegs eine sog. „nativistische“ Auffassung des räumlichen Sehens involviert. Im Begriffe der primitiven Empfindung, wie er oben definiert wurde, liegt noch nicht enthalten, daß die Qualität von Anfang an räumlich bestimmt sei. Auch wenn die räumliche Bestimmtheit einer Qualität erst im individuellen Leben erworben würde, bliebe es immer noch richtig, daß sie durch anderweitige Motive der Erfahrung modifiziert werden kann.

---

<sup>1</sup> Wie leicht zu ersehen, kann auch der Fall eintreten, daß ein Motiv der Täuschung durch ein anderes zum Teil oder ganz paralysiert wird. Dies geschieht z. B. bei der monokularen Wahrnehmung von Tiefenunterschieden. Die in Wirklichkeit bestehenden Tiefenunterschiede verschwinden bei monokularer Beobachtung, wenn alle Erfahrungsmomente ausgeschlossen sind; sie verschwinden in der primitiven Empfindung, d. h. die primitive Empfindung täuscht über den wahren Sachverhalt (HERINGS Fallversuch zeigt dies deutlich). Läßt man Erfahrungsmomente zur Geltung kommen, indem man z. B. einen Gegenstand den anderen teilweise decken läßt, so tritt nicht die primitive (nur durch das Netzhautbild bestimmte), sondern eine central modifizierte Empfindung ins Bewußtsein, und diese kann in Betreff der Tiefenunterschiede mit dem wirklichen Gegenstand übereinstimmen. Wir werden im § 22 ein anderes hieher gehöriges Beispiel kennen lernen.

<sup>2</sup> Es sind dies die sog. erfahrungsmäßigen Motive der Lokalisation, wie z. B. teilweise Deckung eines Objektes durch ein anderes, Bekanntschaft mit der wirklichen Größe eines Objektes, die verschiedene Lichtstärke, die Luftperspektive u. dgl. m. Vergl. die ausführliche Erörterung HERINGS in *Hermanns Handb.*, III. Bd., I. T. pag. 578 ff.

§ 5. Beim monokularen Sehakt kann bekanntlich eine und dieselbe Reihe von Netzhautelementen durch Objekte der verschiedensten Entfernung und Lage gereizt werden, oder — um mich auf den einfachsten Fall zu beziehen — ein bestimmtes Netzhautelement kann durch einen beliebigen Licht aussendenden Punkt gereizt werden, falls derselbe nur auf der Richtungslinie des betreffenden Elementes gelegen ist und die von ihm ausgehenden Lichtstrahlen sich auf der Netzhaut vereinigen. Im Reize geht also von den drei räumlichen Variablen des Außenpunktes eine verloren. Der Reiz bestimmt die Empfindung nur nach zwei Dimensionen. In welche Entfernung das Empfundene lokalisiert wird, hängt ganz von den zufällig wirkenden Erfahrungsmomenten ab und ist demnach durchaus variabel. So sehe ich (monokular) drei vertikale Kokonfäden, die vor einem Schirm in verschiedener Entfernung vom Auge aufgehängt und deren obere und untere Enden durch vorgesetzte Kartonblätter verdeckt sind, in der Regel auf der Ebene des Schirmes, dessen Lage mir aus früherer Anschauung bekannt ist. Werden die Fäden erheblich genähert, so sehe ich die Fäden manchmal vor dem Schirm, aber im allgemeinen in einer Ebene oder wenig von derselben abweichend. Etwaige Details am Schirm können nämlich das Vortreten der Fäden deutlicher machen, weil sie verschwommen erscheinen, wenn sich die Fäden scharf abbilden u. dergl. m. Kurz, die vom Reize aus sozusagen leer gelassene Stelle der dritten räumlichen Variablen kann durch alle möglichen Erfahrungsmomente ausgefüllt werden. Man kann die monokulare Tiefenlokalisation „unbestimmt“ nennen; nicht zwar in dem Sinne, als besäße die Empfindung in jedem Momente eine unbestimmte Tiefe — denn dies würde so viel heißen, als der Empfindung die Tiefenbestimmtheit überhaupt absprechen, was nicht angeht; wohl aber in dem Sinne, daß die Empfindung nicht vom Reize aus nach der dritten Dimension bestimmt ist, sondern diese Bestimmtheit erst durch ganz variable psychische Veranlassungen erhält und demgemäß auch ihrerseits von einem Moment zum andern wechseln kann. „In Bezug auf die Tiefe unbestimmt lokalisiert sein“ heißt also hier nichts anderes als: von variabler Tiefenbestimmtheit sein infolge des Mangels einer im Reize begründeten Bestimmung nach der Tiefe.

§ 6. Anders verhält sich's bekanntlich beim binokularen Sehakt.

Hier erscheint alles binokular und einfach Gesehene vor, in oder hinter derjenigen Ebene, welche man sich durch den fixierten Punkt parallel mit der Frontalebene gelegt denken kann. Die Ebene, in welche alle binokular und einfach gesehenen Punkte, die weder vor noch hinter dem fixierten Punkte erscheinen, lokalisiert werden, möge nach HERINGS Terminologie die Kernfläche, der fixierte Punkt der Kernpunkt des Sehraumes genannt werden. Bezeichnen wir die Tiefenwerte aller andern Punkte, je nachdem sie vor oder hinter der Kernfläche gesehen werden, als positiv resp. negativ, so können wir die Kernfläche auch als den geometrischen Ort aller Sehpunkte vom Tiefenwerte 0 definieren.

Die Lokalisation des Kernpunktes (und damit der Kernfläche) in den Sehraum ist bekanntlich vom Reize aus nicht bestimmt. Ob ein binokular fixierter Punkt näher oder ferner liegt, immer liegt sein Bild auf den Netzhautcentren. Ein Unterschied besteht nur in der Konvergenz; diese aber giebt keinen eindeutigen Hinweis auf die Tiefenlage des Sehpunktes. Die Lokalisation des Kernpunktes und der Kernfläche hängt ab von Motiven, die nicht in der peripheren Erregung begründet sind (die uns hier nicht weiter zu beschäftigen haben), und ist, da diese variabel sind, ebenfalls eine wechselnde.

Natürlich ändert sich nach Maßgabe der variablen Entfernung des Kernpunktes und der Kernfläche auch die Distanz zweier in der Kernfläche gelegenen Punkte; sie ist — bei Gleichheit der Netzhautbilder — größer, wenn die Entfernung der Kernfläche größer ist, wie dies beispielsweise die bekannten Versuche über die Größe von Nachbildern zeigen.

§ 7. Anders verhält es sich bekanntlich mit der Lokalisation der nicht in der Kernfläche erscheinenden Sehdinge in Bezug auf diese. Wenn alle Erfahrungsmotive ausgeschlossen sind, so sind doch im binokularen Sehakte selbst bereits die Ursachen gegeben, welche ein Sehding vor, in oder hinter der Kernfläche erscheinen lassen. Sie beruhen auf der Verschiedenheit der Lage der beiden Netzhautbilder, welche von einem Objekte erzeugt werden. Soll der einem Außenpunkte entsprechende Sehpunkt in die Kernfläche lokalisiert werden, so müssen die Richtungslinien des Außenpunktes zwei bestimmte



Netzhautpunkte,  $a$  und  $a'$ , treffen, die man als identische Punkte bezeichnet. Trifft die eine Richtungslinie eines Punktes auf  $a$ , die andere aber nicht auf  $a'$ , sondern auf  $a''$ , so wird der Punkt, falls die Entfernung von  $a'$  und  $a''$  eine gewisse Grenze nicht überschreitet, noch einfach gesehen; falls diese Grenze überschritten wird, zerfällt er in Doppelbilder. Letzterenfalls kann entweder das links gelegene Halbbild dem linken Auge zugehören, das rechts gelegene dem rechten — gleichseitige oder ungekreuzte Doppelbilder, — oder aber das links gelegene dem rechten Auge, und das rechts gelegene dem linken — ungleichseitige oder gekreuzte Doppelbilder. — (Im einzelnen Falle überzeugt man sich durch abwechselndes Schließen des einen und andern Auges leicht, welche Art von Doppelbildern vorliegt.) Mit Bezug auf die gekreuzten oder ungekreuzten Doppelbilder spricht man dann auch von gekreuzter (ungleichseitiger) oder ungekreuzter (gleichseitiger) Disparation; und zwar auch dann, wenn die Disparation nicht so groß ist, daß Doppelbilder entstehen, sondern wenn das Objekt noch einfach gesehen wird.

Treffen die Richtungslinien eines Außenpunktes disparate Netzhautstellen, so erscheint der entsprechende Sehpunkt nicht in der Kernfläche, sondern er erscheint vor der Kernfläche bei gekreuzter Disparation, hinter der Kernfläche bei ungekreuzter Disparation.

Auf der Disparation der Netzhautbilder beruht also die binokulare Stereoskopie.

Es ist auch ersichtlich, daß durch die Verschmelzung disparater Punkte schon die primitive Empfindung jene Variabilität nach der dritten Dimension erhält (oder wenigstens erhalten kann), welche wir beim monokularen Sehakt vermißten. Denn während das Bild eines Punktes auf einer Netzhaut nur nach zwei Dimensionen variabel sein kann, liegt (beim binokularen Sehen) in dem Umstand, daß das Punktbild auf der einen Netzhaut mit verschiedenen Punktbildern der andern Netzhaut verschmelzen kann, die Möglichkeit einer dritten Variabilität. Beim binokularen Sehakt ist also schon die primitive Empfindung nach drei Dimensionen variabel.

Diese im Reize begründete und daher schon in der primitiven Empfindung gelegene Lokalisation in Bezug auf die Kernfläche kann auch, da sie auf der Disparation der Netzhaut-



bilder beruht, als disparative Tiefenlokalisation bezeichnet werden. „Disparative Tiefenlokalisation“ und „Lokalisation in Bezug auf die Kernfläche“ sind also zwei Namen für dasselbe Ding. Streng davon zu trennen ist, wie schon erwähnt, die Tiefenlokalisation der Kernfläche selbst und ebenso die Lokalisation in Bezug auf die Kernfläche dann, wenn sie durch empirische Momente und nicht bloß durch die Disparation der Netzhautbilder bestimmt wird.

§ 8. Wenn die Punkte  $a$  der einen und  $a'$  der andern Netzhaut einander so zugeordnet sind, daß der ihnen entsprechende Sehpunkt in die Kernfläche lokalisiert wird, so sagen wir: das Punktepaar  $aa'$  hat nur Breiten- und Höhenwert (keinen Tiefenwert in Bezug auf die Kernfläche), indem wir in übertragenem Sinne den Netzhautpunkten selbst Raumwerte zuschreiben.<sup>1</sup> Den disparaten Punkten  $a$  und  $a''$  entspricht dagegen ein hinter oder vor die Kernfläche lokalisierter Sehpunkt. In diesem Falle sagen wir: das Punktepaar  $aa''$  hat einen Breiten-, Höhen- und Tiefenwert.

Man sieht nun aber sofort, daß hier zwei Fälle möglich sind: entweder dem Punkte  $a$  gehört immer und unter allen Umständen nur der Punkt  $a'$  in der Weise zu, daß der entsprechende Sehpunkt in der Kernfläche liegt (den Tiefenwert  $o$  besitzt); oder aber dem Punkte  $a$  gehört ein Mal  $a'$ , unter andern Umständen  $a''$ ,  $a'''$ .... in der eben bezeichneten Weise zu. Ersterenfalls ist der Raumwert des Punktepaares  $aa'$  ein konstanter und nach Breite und Höhe nur insofern variabel, als die Lokalisation der Kernfläche selbst variabel ist. Der Raumwert von  $aa'$  variiert dann nur proportional der Lokalisation der Kernfläche selbst, ist aber in Bezug auf diese stabil. Gilt hingegen der zweite Teil der oben gestellten Alternative, so ist der Raumwert von  $aa'$  auch in Bezug auf die Kernfläche variabel. Denn in allen Fällen, wo  $aa''$ ,  $aa'''$ .... in die Kernfläche lokalisiert wird, erhält  $aa'$  einen gewissen Tiefenwert.

Die Frage ist also: **Sind für die Fälle des binokularen**

---

<sup>1</sup> Diese von HERING (vergl. „Die Gesetze der binokularen Tiefenwahrnehmung“ in *Reicherts und Du Bois' Archiv*, 1865, pag. 154) eingeführte Ausdrucksweise würde die Annahme nicht ausschließen, daß den einzelnen Punkten nur Lokalzeichen eigen sind, an welche erst Raumvorstellungen associiert werden; sie präjudiziert also nicht für eine sogenannte nativistische Auffassung.

## Einfachsehens die Raumwerte schon auf der Doppelnetzhaut stabilisiert oder nicht?

Der Entscheidung dieser Frage sind die folgenden Untersuchungen gewidmet.

§ 9. In der Geschichte der physiologischen Optik sind beide Ansichten vertreten. Die alte „Projektionstheorie“ besagte, daß ein Objekt dort gesehen werde, wo sich seine beiden Richtungslinien schneiden, daß also die primitive Empfindung eine mit der Wirklichkeit übereinstimmende Lokalisation besitze. Es ist leicht zu zeigen (und wir werden in der Folge noch ausführlicher darauf zu sprechen kommen), daß diese Ansicht eine Variabilität der Raumwerte involviert. Gesetzt nämlich, die Gesichtslinien befänden sich in symmetrischer Konvergenz, so treffen die Richtungslinien irgend eines in der (wirklichen) Ebene des Fixationspunktes gelegenen Punktes<sup>1</sup> z. B. auf die beiden Netzhautpunkte  $a$  und  $a'$ . Nun entferne sich der Fixationspunkt in der Medianebene. Zieht man jetzt die zu den Punkten  $a$  und  $a'$  gehörigen Richtungslinien, so schneiden sich dieselben in einem Punkte, der nicht mehr in der Ebene des neuen Fixationspunktes liegt; ja es giebt in dieser Ebene überhaupt keinen Punkt, dessen Richtungslinien wieder auf  $a$  und  $a'$  treffen; trifft die eine Richtungslinie eines in der genannten Ebene gelegenen Punktes auf  $a$ , so kann die andere nicht auf  $a'$  treffen, trifft die eine auf  $a'$ , so kann die andere nicht auf  $a$  treffen. Es wäre also nur unter Voraussetzung variabler Raumwerte der Netzhaut möglich, daß den in der Ebene des Fixationspunktes gelegenen wirklichen Punkten auch immer in der Kernfläche gelegene Sehpunkte entsprechen, mit andern Worten, daß immer richtig (mit der Wirklichkeit übereinstimmend) lokalisiert wird.

Der Projektionstheorie steht das von HERING aufgestellte Gesetz der identischen Sehrichtungen extrem gegenüber. Denn diesem zufolge hängt die Lokalisation eines Punktes nicht vom Schnittpunkt der Richtungslinien ab, sondern von den Raumwerten der beiden getroffenen Netzhautpunkte. Gehören zwei Netzhautpunkte so zusammen, daß der entsprechende Sehpunkt in der Kernfläche des Sehraumes liegt, so ist es nach HERINGS

<sup>1</sup> Hier und in der Folge wird unter „Ebene des Fixationspunktes“ diejenige durch den Fixationspunkt gelegte Ebene verstanden, welche zur Frontalebene parallel ist.

Ansicht gleichgültig, welche Lage im Raum derjenige wirkliche Punkt hat, in welchem sich die den beiden (identischen) Netzhautpunkten entsprechenden Richtungslinien schneiden.

§ 10. Da die Frage nach der Stabilität oder Variabilität der Raumwerte (in der angegebenen Bedeutung) nur dann einen Sinn hat, wenn es sich um die primitiven Empfindungen handelt, so sind natürlich alle Erfahrungsmomente, welche die Lokalisation in Bezug auf die Kernfläche beeinflussen können, im Experimente auszuschließen. Erfahrungsmomente, welche auf die Lokalisation der Kernfläche selbst wirken, sind einerseits überhaupt nicht ausschließbar, andererseits sind sie aber für die vorliegende Untersuchung gänzlich irrelevant. Denn nicht darauf kommt es an, wohin die Kernfläche lokalisiert wird, sondern darauf, ob ein gewisses Sehding vor, in oder hinter die Kernfläche lokalisiert wird.

§ 11. Behufs genauerer Formulierung der Frage nach Stabilität oder Variabilität der Raumwerte auf der Doppelnetzhaute sollen einige weitere Definitionen vorausgeschickt werden.

Denken wir uns bei Primärstellung der Augen eine auf der Gesichtslinie senkrechte, zur Medianebene parallele und durch den mittleren Knotenpunkt gehende Gerade, so läßt sich durch diese Gerade eine Schaar von Ebenen legen, welche die Netzhaut in einer Schaar von Linien schneiden. Diese Schnittlinien heißen Längsschnitte.

Denken wir uns weiter eine wiederum auf der Gesichtslinie senkrechte, durch den mittleren Knotenpunkt gehende, aber in der Blickebene liegende Gerade, so kann durch diese Gerade wieder eine Schaar von Ebenen gelegt werden, welche die Netzhaut in einer Schaar von Linien schneidet, die wir als Querschnitte bezeichnen.

Den durch die Stelle des deutlichsten Sehens gehenden Längs- und Querschnitt bezeichnen wir als mittleren Längs- bzw. Querschnitt.

Eine Linie, die sich auf den beiden mittleren Längsschnitten abbildet, erscheint in der Kernfläche. Ebenso gehört aber auch jedem anderen Längsschnitt des einen Auges ein Längsschnitt des anderen Auges so zu, daß eine auf beiden sich abbildende Linie in der Kernfläche erscheint. Ein solches Paar von Längsschnitten bezeichnet man als identische oder korrespon-

dierende Längsschnitte. Die Gesamtheit der im Außenraum befindlichen Linien, die sich auf identischen Längsschnitten abbilden, heißt der Längshoropter oder Vertikalhoropter.

Ebenso gehört jedem Querschnitte der einen Netzhaut ein Querschnitt der andern Netzhaut so zu, daß eine auf beiden sich abbildende Linie in der Kernfläche erscheint. Ein solches Paar von Querschnitten bezeichnet man als identische oder korrespondierende Querschnitte. Die Gesamtheit der im Außenraume gelegenen Linien, die sich auf identischen Querschnitten abbilden, heißt Querhoropter oder Horizontalhoropter.

Netzhautpunkte, welche identischen Längsschnitten angehören, aber nicht auf identischen Querschnitten liegen, heißen längsdisparate, vertikaldisparate oder höhendisparate Punkte. Netzhautpunkte, welche identischen Querschnitten angehören, aber nicht auf identischen Längsschnitten liegen, heißen querdisparate oder horizontaldisparate Punkte. Spricht man schlechtweg von identischen Punkten, so meint man damit Punkte, die sowohl auf identischen Längsschnitten als auch identischen Querschnitten liegen.

Es ist weiter bekannt, daß nicht nur identischen, sondern auch disparaten Punkten einfache Empfindungen entsprechen, letzteres dann, wenn die Disparation gewisse enge Grenzen nicht überschreitet; oder, um dies kurz auszudrücken: der Punkt  $a$  der einen Netzhaut „verschmilzt“ nicht nur mit  $a'$  der anderen, sondern auch mit einem engen Bezirk von Punkten, die um  $a'$  herumliegen (PANUMS „korrespondirendem Empfindungskreis“). Wie erwähnt, erscheint ein Punkt, der querdisparaten Netzhautstellen entspricht, vor oder hinter der Kernfläche.

Nach dieser Auseinandersetzung wird es sich erklären, daß die Frage nach der Stabilität der Raumwerte sich schon von vornherein in zwei Fragen teilen läßt.

Wenn nämlich dem Punkte  $a$  der einen Netzhaut nicht immer  $a'$  der anderen Netzhaut so zugehört, daß die Empfindung in der Kernfläche liegt, sondern wenn unter Umständen  $a''$  diese Bedingung erfüllt, so ist es von vornherein ebenso wohl möglich, daß dieses  $a''$  im selben Querschnitt, aber in anderem Längsschnitt, als auch, daß es im selben Längsschnitt, aber anderem Querschnitt liegt, oder kurz gesagt:  $a''$  kann querdisparat und es kann längsdisparat liegen. Wenn aber gefragt

wird, ob der Raumwert des Punktpaares  $aa'$  stabil oder variabel sei, so kann das letztere von vornherein in zweifacher Weise gedacht werden: die Variabilität kann eine querdysparative, eine längsdysparative oder natürlich beides zugleich sein. Daß die Frage nach Stabilität oder Variabilität in Bezug auf längsdysparative Punkte thatsächlich wegfällt, werden erst spätere Untersuchungen zeigen. Vorerst werden wir die Frage nach Stabilität bezw. Variabilität in Bezug auf bloß querdysparative Netzhautbilder behandeln.

## II. Die Querdysparation und ihr Verhältnis zur Lokalisation in die Tiefe.

§ 12. Da für die Lokalisation in Bezug auf die Kernfläche vor allem das Erfahrungsmoment der perspektivischen Vergrößerung oder Verkleinerung des Bildes störend sein kann, so wurden in allen folgenden Versuchen Objekte von so geringer Größe verwendet, daß die Größenänderung des Bildes innerhalb des hier in Frage kommenden Intervalles unter der Merkmalsgrenze lag. Wo es (wie in den meisten Fällen) auf lineare Objekte ankam, wurden Kokonfäden benutzt, deren Enden nicht sichtbar waren. Außerdem wurde (wo nicht eigens das Gegenteil angegeben ist) ein mit einem rechteckigen Ausschnitt versehener Schirm so vor die Augen gesetzt, daß außer den Fäden (oder Punkten) und dem dahinter befindlichen Schirme keine anderen Objekte gesehen werden konnten.

Überdies wurde, wo nicht eigens das Gegenteil angegeben ist, mit fixierendem Blicke und ausnahmslos mit symmetrischer Konvergenz beobachtet.

§ 13. Bei den folgenden Versuchen handelt es sich, wie oben bemerkt, darum, bloß Querdysparationen in Frage kommen zu lassen (also die Längsdysparationen auszuschließen). Ich habe zu diesem Zwecke drei vertikale Kokonfäden ohne unterscheidbare Markpunkte benutzt. Dieselben waren je an einem Bügel befestigt und die Bügel in den Schlitz einer Metallplatte verschiebbar. Zwischen die vertikalen Stücke der Bügel und die Kokonfäden wurde ein gleichmäßig schwarzer Schirm gestellt, zwischen die Fäden und die Augen ein Karton mit einem rechteckigen Fenster. Der Kopf wurde durch einen Kopfhalter

fixiert. Der Schlitz, in welchem der Bügel mit dem Mittelfaden verschiebbar war, stand genau in der Medianebene.

§ 14. Stellt man nun die beiden seitlichen Fäden so, daß sie gleichen Abstand von der Frontalebene haben (und überdies — worauf es hier weniger ankommt — auch von der Medianebene gleichweit entfernt sind) und versucht bei fortwährend symmetrischer Konvergenz den Mittelfaden so zu stellen, daß er in der Ebene der Seitenfäden erscheint, so zeigt sich, daß er in Wirklichkeit hinter der Ebene der Seitenfäden zu liegen kommt, wenn das Fadensystem dem Auge des Beobachters sehr nahe liegt, und zwar um so weiter hinter der Ebene, je näher es ihm liegt.<sup>1</sup> Macht man den analogen Versuch mit einem fernergelegenen Fadensystem, also z. B. bei einer Distanz von 2 m (wobei natürlich entsprechend dickere Fäden benutzt werden müssen), so muß der Mittelfaden, um in der Ebene der Seitenfäden zu erscheinen, in Wirklichkeit dem Beobachter näher stehen. Die Fläche, in der die Fäden liegen, muß also in ersterem Falle in Wirklichkeit gegen den Beobachter konkav sein, im letzteren Falle konvex. Kehrt man den Versuch um, indem man die Fäden thatsächlich in eine Ebene bringt, so erscheinen sie, in der Nähe gesehen, in einer konvexen Fläche, aus der Ferne in einer konkaven. In einem gewissen Distanzintervalle erscheinen die Fäden in einer Ebene, wenn sie wirklich in einer Ebene liegen.

Bezeichnet man in der üblichen Weise die Gesamtheit derjenigen im Aufsenraum befindlichen Punkte, welche sich ohne Querdissipation abbilden, d. h. deren Bilder auf identische Längsschnitte fallen, als Längshoropter, so kann man die eben beschriebene Erscheinung auch so ausdrücken: der Längshoropter ist nur bei einer bestimmten Entfernung oder bei einem bestimmten Intervall von Entfernungen eine Ebene, diesseits dieses Intervalles ist er eine gegen den Beobachter konkave, jenseits desselben eine gegen den Beobachter konvexe Fläche.

Der obige, wie erwähnt von HERING und HELMHOLTZ in übereinstimmender Weise beschriebene, Versuch hat durch

<sup>1</sup> Vgl. HERING, „*Beiträge zur Physiologie*“, V. Heft, pag. 298; ebenso in *Hermanns Handbuch*, III. Bd. I. T. pag. 401, und HELMHOLTZ, *Physiol. Opt.* pag. 654.



HELMHOLTZ eine Interpretation erfahren, welche die Variabilität der Raumwerke auf der Netzhaut zur notwendigen Voraussetzung hat, wie wir in der Folge sehen werden.

§ 15. Ehe ich auf die HELMHOLTZsche Erklärung und einige andere damit zusammenhängende Anschauungen dieses Forschers über die binokulare Tiefenlokalisation eingehe, werde ich zu zeigen versuchen, wie jener Versuch unter Voraussetzung stabiler Raumwerte erklärt werden kann, ohne vorläufig deren Stabilität zu behaupten.

Denken wir uns zunächst, zwei Punkte  $m$  und  $m'$  (vergl. Fig. 1) der mittleren Querschnitte der beiden Netzhäute<sup>1</sup> hätten

dann den Tiefenwert  $= 0$ , wenn die entsprechenden Richtungslinien  $mM$  und  $m'M$  mit den Gesichtslinien  $pP$  und  $p'P$  gleiche Winkel einschließen und der eine Punkt auf der Nasal-, der andere auf der Temporalhälfte der Netzhaut liegt. In diesem Falle wäre, wie eine elementare geometrische Überlegung lehrt, der geometrische Ort aller in die Kernfläche lokalisierten Punkte eine Kreislinie, die durch die beiden mittleren Knotenpunkte ( $K$  und  $K'$ ) und durch den fixierten Punkt

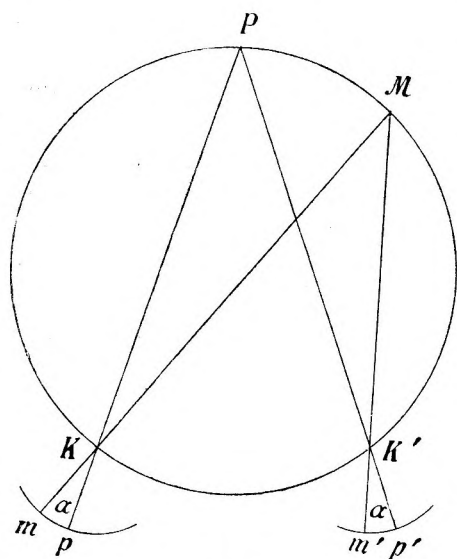


Fig. 1.

( $P$ ) geht (der sogenannte MÜLLERSche Horopterkreis). Der Radius dieses Kreises würde dann um so größer, also die Krümmung jedes Bogenelementes um so schwächer sein, je weiter der fixierte Punkt vom Beobachter entfernt liegt. Der Grenzfall wäre eine gerade Linie.

Auf den obigen Versuch angewendet, müßten die Fäden stets in einer konkaven Fläche liegen, um in einer Ebene

<sup>1</sup> Die Punkte sollen deshalb auf den mittleren Querschnitten liegen, weil u. a. hier ein Fall gegeben ist, in welchem keine Höhendispersion stattfindet.



gesehen zu werden. Die Konkavität würde schwächer werden mit der Entfernung des Fadensystems vom Beobachter. Theoretisch würde sie erst in unendlicher Entfernung ganz aufhören, niemals aber in Konvexität umschlagen.

§ 16. Nehmen wir nun aber den Fall an, das Punktepaar  $aa'$  müßte, um den Tiefenwert  $= 0$  zu haben, so gelegen sein, daß die Winkel, welche die beiden Richtungslinien mit den zugehörigen Gesichtslinien einschließen, ungleich sind, und zwar so, daß der nasale Winkel größer wäre als der temporale, so läßt sich leicht zeigen, daß die Fläche, in der die Aussenspunkte liegen müssen, damit die Sehfläche eine Ebene bleibe, in der Nähe konkav, in der Ferne konvex und nur in einer bestimmten mittleren Entfernung eben sein müßte.

Um dies deutlich zu machen, brauchen wir nur von dem Falle auszugehen, in welchem die wirkliche Ebene auch als Ebene erscheint, und einen (der Einfachheit wegen in der Blickebene befindlichen) Punkt herauszugreifen. Dieser Punkt befinde sich z. B. rechts vom Fixationspunkt. Seine Richtungslinie für das rechte Auge schließt mit der Gesichtslinie des rechten Auges einen größeren Winkel ein als die Richtungslinie für das linke Auge mit der Gesichtslinie dieses Auges einschließt; oder, um mich eines kürzeren Ausdruckes zu bedienen: der Gesichtswinkel des rechten Auges ist größer als der des linken.

Sind nun die Raumwerte stabil (von welcher Annahme wir ausgingen), so brauchen wir bloß die beiden Gesichtswinkel konstant zu lassen und beide Gesichtslinien beliebig, aber symmetrisch, um die Knotenpunkte zu drehen: der Schnittpunkt der beiden Richtungslinien wird uns immer den wirklichen Ort eines in der Kernfläche gesehenen Punktes geben.

Analytisch läßt sich feststellen, daß, während der Fixationspunkt auf der Medianlinie wandert, der Schnittpunkt zweier Richtungslinien, die mit ihren bezüglichen Gesichtslinien konstante, aber untereinander ungleiche Winkel einschließen, auf einer Hyperbel sich bewegen muß. Ist  $g$  die halbe Basallinie, sind  $\alpha$  und  $\beta$  die beiden von je einer Gesichtslinie und Richtungslinie eingeschlossenen Winkel, macht man ferner die Basallinie zur Abscissenaxe und ihren Mittelpunkt zum Anfangspunkt eines rechtwinkligen Koordinatensystems, so lautet die Gleichung der obigen Hyperbel:

$$x^2 - y^2 + 2xy \cot(\alpha + \beta) = g^2.$$

Zu jedem Punkte der Medianlinie gehört ein bestimmter Punkt der Hyperbel. Heißt die Ordinate eines bestimmten Punktes der Medianlinie  $x_1$ , die Ordinate des dazugehörigen Hyperbelpunktes  $x_2$ , so läßt sich zeigen, daß zwischen  $x_1$  und  $x_2$  folgende Relation besteht:

$$x_2 = \frac{2g \cos \alpha \cos \beta}{\sin(\alpha - \beta)} \cdot \frac{(x_1 - g \operatorname{tg} \alpha)(x_1 + g \operatorname{tg} \beta)}{\left(x_1 - g \operatorname{tg} \frac{\alpha - \beta}{2}\right)\left(x_1 + g \operatorname{tg} \frac{\alpha + \beta}{2}\right)};$$

woraus sich ergibt, daß  $x_2 = >$  und  $<$  als  $x_1$  werden kann.

Die folgenden Figuren dienen zur Veranschaulichung sämtlicher möglichen Lagen dieses Schnittpunktes.

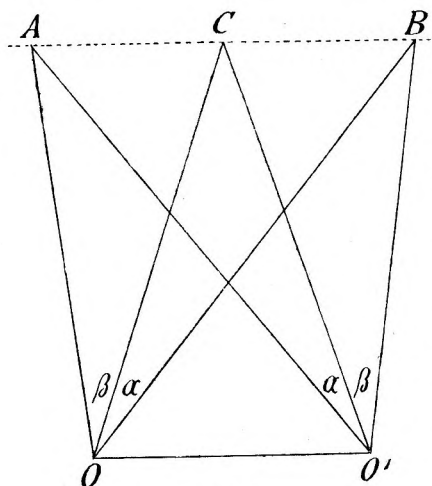


Fig. 2.

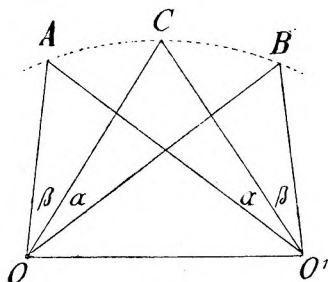


Fig. 3.

Es seien (Fig. 2, 3 u. 4)  $O$  und  $O'$  die mittleren Knotenpunkte der beiden Augen,  $A$ ,  $B$  und  $C$  drei in der Blick-ebene befindliche Punkte, der fixierte Punkt  $C$  liege in der Medianlinie,  $A$  und  $B$  symmetrisch zu dieser. Fig. 2 möge den Fall darstellen, in welchem die drei Punkte in einer vertikalen Ebene liegen und auch in einer Ebene gesehen werden. Die Richtungslinien von  $A$  und  $B$  für das linke Auge ( $AO$  und  $BO$ ) schließen mit der Gesichtslinie dieses Auges ( $CO$ ) die Winkel  $\alpha$  und  $\beta$  ein, und Analoges gilt für das rechte Auge. Wie man sieht, ist  $\alpha < \beta$ . Nun rücke (Fig. 3) der Fixationspunkt  $C$  dem Beobachter in der Medianlinie näher. Zieht man nun zwei Paare von Richtungslinien ( $AO$ ,  $BO$  und  $AO'$ ,  $BO'$ ), welche mit den Gesichtslinien wieder die Winkel  $\alpha$

und  $\beta$  einschließen, so liegen die Schnittpunkte der Richtungslinien ( $A$  und  $B$ ) der Frontalebene des Beobachters näher

als der Punkt  $C$ . In Fig. 3 sind, da die Winkel  $\alpha$  und  $\beta$  sich nicht geändert haben, dieselben Netzhautpunkte gereizt, wie in Fig. 2. Sind nun, wie wir voraussetzten, die Raumwerte stabil, so müssen die drei Punkte, da sie im ersten Falle in einer Ebene gesehen werden, auch im zweiten Falle in einer Ebene erscheinen.

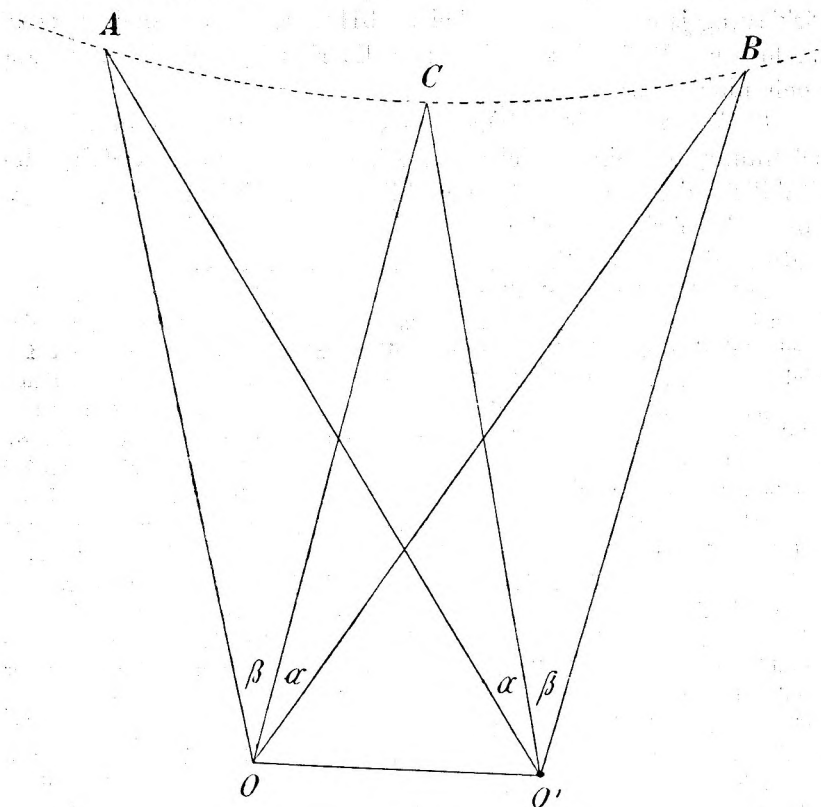


Fig. 4.

In Fig. 4 ist der Fixationspunkt  $C$  weiter vom Beobachter entfernt, als in Fig. 2, die Richtungslinien aber wieder so gezogen, daß sie mit den Gesichtslinien die Winkel  $\alpha$  und  $\beta$  einschließen. Man sieht, daß dann die Schnittpunkte  $A$  und  $B$  ferner liegen als der Fixationspunkt. Wieder aber müssen — unter Voraussetzung stabiler Raumwerte — die drei Sehpunkte in einer (mit der Frontalebene parallelen) Ebene liegen, während die wirklichen Punkte einer gegen den Beobachter konvexen Fläche angehören.

Man sieht also, daß unter Voraussetzung der Stabilität der Raumwerte das Phänomen erklärt werden kann, daß fernliegende Punkte in einer konvexen, naheliegende in einer konkaven Fläche liegen müssen, wenn sie in einer Ebene gesehen werden sollen.

Einstweilen genüge es, wenigstens die Möglichkeit der Erklärung jenes Phänomens bei stabilen Raumwerten dargethan zu haben. Daß diese Erklärung die richtige sei, ist vorläufig noch nicht gesagt.

§ 17. Wie schon früher bemerkt, hat HELMHOLTZ die Erscheinung in einer Weise zu erklären versucht, welche die Stabilität der Raumwerte ausschließt. Nachdem er das Phänomen beschrieben und aus seinen Versuchen einige numerische Daten mitgeteilt, fährt er folgendermaßen fort:

„Die Täuschung bei diesen Versuchen erklärt sich aus der oben bemerkten Thatsache, daß, wenn wir nur nach der Konvergenz der Gesichtslinien die Entfernung beurteilen, wir dieselbe gewöhnlich für kleiner halten, als sie wirklich ist, und sie überhaupt unsicher beurteilen“.

„Wenn wir nun auf eine senkrechte, durch senkrechte parallele Linien eingeteilte Ebene blicken, so erscheinen die nach rechts hin gelegenen Streifen derselben dem rechten Auge unter größerem Gesichtswinkel als dem linken, weil sie erstens jenem Auge näher sind, und weil zweitens seine Gesichtslinie die genannten Streifen unter einem weniger spitzen Winkel trifft, als die des linken Auges. Umgekehrt erscheinen die nach links gelegenen Streifen dem linken Auge breiter, als dem rechten. Je näher die Augen der besagten Ebene kommen, desto größer werden die Differenzen der Gesichtswinkel für den gleichen Streifen. Um nun entscheiden zu können, ob die wahrgenommenen Differenzen dieser Art der Projektion einer ebenen Fläche oder einer gekrümmten angehören, müßte man die Entfernung des Objekts nach der Konvergenz der Gesichtslinien sehr genau schätzen können. Denn die gleichen Differenzen der beiderseitigen Bilder würde auch ein entfernteres Objekt zeigen können, wenn es gegen den Beobachter konvex wäre, oder ein näheres, wenn es gegen den Beobachter konkav wäre“.<sup>1</sup>

Noch ein weiteres Moment führt HELMHOLTZ an, um jene „Täuschung“ zu erklären, auf das wir sogleich zu sprechen kommen werden. Was den eben citierten Teil der Erklärung anlangt, so sieht man, daß sie nur unter der Voraussetzung variabler Raumwerte gültig sein kann. Denn wenn der Beobachter (auf Grund der Konvergenz) die Entfernung des Fadensystems immer richtig schätzte, müßte er nach HELMHOLTZ

<sup>1</sup> *Physiol. Optik.* 1. Aufl. Pag. 655.

die Fäden immer dann in eine Ebene lokalisieren, wenn sie wirklich in einer Ebene liegen. Dann aber würden dem Punkte *a* der einen Netzhaut in den verschiedenen Entfernungen immer verschiedene Punkte der andern Netzhaut so zugehören, daß die Empfindung in der Kernfläche läge.<sup>1</sup> — Außerdem wird man noch einen anderen Unterschied zwischen der HELMHOLTZschen Erklärung und der früher skizzierten bemerkt haben, auf den ich kurz hinweisen will. Das Konkav- oder Konvexsehen der ebenen Fäden ist nach der früheren (auf der Stabilität der Raumwerte basierten) Erklärung Sache der primitiven Empfindung und nicht des Urteils: wir „täuschen uns“ über das wirkliche Ding, nicht über das Sehding.

Nach HELMHOLTZ aber beurteilen wir das Empfundene (das Sehding) als konkav oder konvex, je nach der Schätzung der Entfernung: also — im Falle falscher Schätzung — eine „Täuschung“ in ganz anderem Sinne!

§ 18. Zur falschen Schätzung der Entfernung kommt nach HELMHOLTZ noch ein weiteres Moment, welches auf die besprochene Täuschung Einfluß haben soll: der Mangel von Höhendisparationen. Im unmittelbaren Anschluß an die citierte Stelle fährt HELMHOLTZ fort, wie folgt:

„Dafs wir nun das gesehene zweiäugige Bild bei den beschriebenen Versuchen so interpretieren, als gehörte es einem entfernten Objekte an, rührt, wie ich glaube, nicht oder wenigstens nicht allein davon her, dafs wir die Entfernung des Objekts unter ähnlichen Umständen meist als zu groß schätzen, wie die oben beschriebenen Versuche bei dem Zielen mit dem einäugig gesehenen Bleistift auf den zweiäugig gesehenen Faden zeigen; denn in der That müßte der Irrtum über die Entfernung größer sein, als er wirklich sich bei jenen Versuchen herausstellt, wenn er die gleiche Änderung in der scheinbaren Form des Raumbildes geben sollte. So würden wir in dem ersten Falle der auf Seite 655 gegebenen Beobachtungen<sup>2</sup> die Entfernung auf 627 mm statt auf 450, in dem dritten auf 350 statt auf 237 schätzen müssen. So groß habe ich die Irrtümer nie gefunden. Ich glaube vielmehr, dafs wir hier eine falsche Auslegung machen, weil ein anderer Umstand wegfällt, der sonst unser Urteil unterstützt. Wenn wir nämlich nicht bloß gleichmäßig fortlaufende gerade Linien in ähnlicher Lage, wie die Fäden bei dem zuletzt beschriebenen Versuche vor Augen haben, sondern Linien, welche deutlich sichthare Merkpunkte darbieten, oder Objekte, an denen auch horizon-

<sup>1</sup> Vgl. oben § 9.

<sup>2</sup> HELMHOLTZ bezieht sich hier auf seine messenden Angaben über die Krümmung von Flächen, die eben erscheinen.

taie Grenzl原因en vorkommen, so erscheinen uns die vertikalen Längen, welche dem rechten Auge näher liegen, unter größerem Gesichtswinkel, als dem linken Auge und umgekehrt.“<sup>1</sup>

Nachdem HELMHOLTZ zum Beweise des Gesagten einen Versuch mit stereoskopischen Figuren anführt, den wir erst später mitteilen und diskutieren werden, fährt er fort:

„Wenn man nun die Bilder so wählt, daß Verschiedenheiten in den vertikalen Dimensionen für beide Augen gar nicht vorkommen können, also z. B. wie in dem oben besprochenen Versuche drei vertikale Fäden, ganz gleichmäßig fortlaufend und ohne Merkpunkte, betrachtet, so fällt ein Teil derjenigen Zeichen fort, an denen wir sonst die Nähe der Bilder erkennen. Die Differenzen, welche die horizontalen Abstände der Fäden in den beiden Netzhautbildern zeigen, sind nicht begleitet von den sonst immer gleichzeitig vorkommenden entsprechenden vertikalen Differenzen, oder wenigstens sind letztere nicht wahrnehmbar, und da wir in der Beurteilung der Nähe durch Konvergenz nicht sehr sicher sind, so beurteilen wir die drei Fäden, wie ein Objekt, welches etwas ferner ist, und an dem alsdann die vorhandenen Differenzen der horizontalen Dimensionen nur vorkommen können, wenn es gegen den Beobachter konvex ist.“<sup>2</sup>

Zum Beweise der Richtigkeit dieser Erklärung hat nun HELMHOLTZ (abgesehen von dem später zu erwähnenden Versuche mit den stereoskopischen Figuren) den Versuch mit den drei Fäden in der Weise abgeändert, daß er auf jeden Faden eine Reihe von Goldperlen in Zwischenräumen von etwa 4 cm aufzog und sich dann wieder die Aufgabe stellte, die Fäden in eine Ebene zu bringen. Die Täuschung war dann „bis auf einen geringen Rest geschwunden“. Während er z. B. bei drei Fäden ohne Merkpunkte, deren äußere 256 mm voneinander entfernt waren und die aus 450 mm Entfernung betrachtet wurden, den mittleren um 10,5 mm zurückschieben müssen, um sie eben zu sehen, so brauchte er, wenn die Perlen aufgezogen waren, den Mittelfaden nur um 2 mm zurückzuschieben. Ja es genügte für HELMHOLTZ, irgend einen, selbst krummlinig begrenzten Gegenstand (z. B. einen Papierschneider) den Fäden zu nähern, um die erwähnte Täuschung fast ganz verschwinden zu machen. Ob die HELMHOLTZsche Erklärung annehmbar ist, darüber dürften die Untersuchungen des sogleich folgenden Kapitels Aufschluß geben.

<sup>1</sup> A. a. O. pag. 655—56.

<sup>2</sup> A. a. O. pag. 657.

### **III. Über den Einfluss der HöhendispARATION auf die Tiefenlokalisation.**

§ 19. Von den zwei von HELMHOLTZ zur Erklärung herangezogenen Momenten,

1. falsche Schätzung der Entfernung,

2. Mangel der HöhendispARATION,

wollen wir zunächst das zweite einer genaueren Prüfung unterziehen.

Wir fragen also: welcher Unterschied ergibt sich für die Tiefenlokalisation, je nachdem HöhendispARATIONEN vorhanden sind oder fehlen?

Zur Entscheidung dieser Frage stellte ich zunächst folgenden Versuch an. Nachdem ich mit den erwähnten Kokonfäden eine Reihe von Einstellungen gemacht hatte, wobei die Entfernung der Ebene der Seitenfäden von der Frontalebene zwischen 300 mm und 110 mm variiert und die jeweilige Distanz, welche dem Mittelfaden gegeben werden musste, damit er in der Ebene der Seitenfäden erschien, gemessen worden war — befestigte ich an den Fäden eine Reihe von kleinen (durchschnittlich etwa  $\frac{1}{2}$  qmm großen) und verschieden geformten Papierschnitzelchen, und zwar in ganz regelloser Anordnung. Hierauf brachte ich die Seitenfäden successive in alle die Lagen, die sie, ehe die Schnitzel aufgeklebt waren, eingenommen hatten, und suchte nun wieder den Mittelfaden so zu stellen, dass er in der Ebene der Seitenfäden erschien. Die betreffenden Entfernungen wurden wieder gemessen.

Ich hatte für sechs verschiedene Entfernungen der Seitenfäden (deren kleinste 110 mm, und deren größte 300 mm betrug) die Lage des Mittelfadens bestimmt, wobei ich für jede der sechs Entfernungen je acht Einstellungen machte, den Durchschnittswert ausrechnete und die Grösse des Fehlerintervalles bestimmte. In gleicher Anzahl wurden dann auch Bestimmungen gemacht, während die Fäden mit den Papierschnitzelchen behaftet waren.

Hiebei ergab sich nun, dass der Mittelfaden dieselbe (oder eine nur innerhalb des Fehlerintervalles abweichende) Stellung einnahm, wie in den Versuchen, bei denen keine Papierschnitzel vorhanden und demnach keine HöhendispARATIONEN gegeben waren.



§ 20. Bei einer weiteren Versuchsreihe wurde auf jeden Faden nur je ein kleines Schnitzelchen angebracht<sup>1</sup> und dieses mit einer Leuchtsubstanz bestrichen; die Kokonfäden wurden geschwärzt und als Hintergrund ein schwarzer Schirm verwendet, außerdem die Fensterladen geschlossen, so daß das Zimmer nur sehr spärlich beleuchtet war. Bei dieser Anordnung waren die Fäden gar nicht mehr zu sehen, nur die drei leuchtenden Punkte. Die seitlichen Fäden waren vor Beginn des Versuches symmetrisch zur Medianebene aufgestellt und ihre Entfernung vom Beobachter und vom Mittelfaden gemessen. Nach Verdunkelung des Raumes wurde dann der mittlere Faden so zu stellen gesucht, daß der darauf befindliche leuchtende Punkt in einer vertikalen, durch die seitlichen Lichtpunkte gehenden Ebene erschien. Die darauffolgende Messung der Distanz des Mittelfadens vom Beobachter ergab, daß die Anordnung der Fäden dieselbe (oder nur innerhalb des Fehlerintervalles abweichende) war, wie in dem Falle, wo die Fäden in ihrer ganzen Länge sichtbar und nicht mit Markpunkten versehen waren.

§ 21. Einige weitere sogleich zu beschreibende Versuche werden, wie ich hoffe, erklären, woher der Gegensatz kommt, der zwischen den angegebenen Resultaten und denen besteht, welche sich für HELMHOLTZ bei dem Versuche mit den Goldperlen ergeben hatten.

Bei einer weiteren Versuchsreihe wurden drei horizontale Kokonfäden so orientiert, daß sie den symmetrisch gestellten vertikalen Seitenfäden an deren vorderer Seite anlagen, sich also in derselben Ebene befanden wie diese. Wurde nun der Mittelfaden so eingestellt, daß er in der Ebene der Seitenfäden erschien, so zeigte sich, daß er in Wirklichkeit wieder an derselben (oder nur an einer innerhalb des Fehlerintervalles liegenden) Stelle stand, die er einnehmen mußte, wenn — *ceteris paribus* — die Horizontalfäden nicht da waren.

Also auch hier war ein Einfluß der Höhendisparation nicht zu konstatieren.

§ 22. Nun traf ich folgende weitere Abänderung des Versuches.

---

<sup>1</sup> Und zwar so, daß nur das mittlere Schnitzelchen in der Blickebene lag, während die beiden seitlichen von dieser Ebene verschieden weit entfernt waren.

Die Vertikalfäden wurden durch feine Drähte ersetzt, die horizontalen Kokonfäden aber so angeordnet, wie es die nebenstehende Figur (Fig. 5.) zeigt.



Fig. 5.

Wenn hier der mittlere Draht hinter die wirkliche Ebene der Seitenfäden zurücktritt (also etwa in die in der Zeichnung veranschaulichte Stellung), so nimmt er die horizontalen Fäden mit sich fort. (Ich habe zu diesem Zwecke die horizontalen Fäden nicht an den Seitendrähten befestigt, sondern dieselben durch seitwärts gelegene Ösen laufen lassen und die Enden mit Wachskügelchen belastet.) Stellte ich nun die Drähte so, wie sie ohne die Horizontalfäden hatten stehen müssen, um in einer Ebene zu erscheinen, so schienen sie nunmehr nicht in einer Ebene zu liegen. Hier war also die Anwesenheit der horizontalen Fäden für die Lokalisation der vertikalen nicht mehr gleichgültig, wie bei dem früher angegebenen Versuche — übereinstimmend mit den Angaben, die HELMHOLTZ macht. Nun stellte ich den Mitteldraht in die wirkliche Ebene der Seitendrähte: sofort erschien er mir vor dieser Ebene zu liegen. Bei zwischenliegenden Positionen des Mitteldrahtes war ich im Urteil unsicher und schwankend. Eine Stelle zu finden, in welcher ich den mittleren Draht mit aller Entschiedenheit in die Ebene der seitlichen Drähte verlegt hätte, war mir ganz unmöglich.

§ 23. Nun fragt es sich vor allem, warum bei der letzt-erwähnten Versuchsanordnung die horizontalen Fäden überhaupt einen Einfluss auf die Tiefenlokalisation gewinnen konnten? In den Höhendisparationen, welche die Kreuzungspunkte der vertikalen und horizontalen Linien ergeben, konnte der Grund unmöglich liegen: denn Höhendisparationen waren ja auch bei den Versuchen mit den Papierschnitzelchen gegeben, und eben dort hatten sie sich als einflusslos erwiesen.

Der wahre Grund liegt vielmehr in demselben bekannten Umstande, der uns auch die flächenhafte Darstellung von Körpern als in die Tiefe sich erstreckend erscheinen lässt, d. h. in der Perspektive. Ein spitzer Winkel, auf ein zur

Frontalebene paralleles Papierblatt gezeichnet, muß nicht als spitzer, er kann vielmehr auch als rechter sich in die Tiefe erstreckender Winkel erscheinen. Gerade Linien hingegen, die keine Winkel bilden, werden in der Ebene des Papiers gesehen, sie erscheinen nicht als perspektivische Verkürzungen von Linien, die sich in die Tiefe erstrecken.

Die Tiefenwahrnehmung infolge der Perspektive ist, wie schon früher erwähnt, eine empirische, sie erfolgt auf Grund früherer Erfahrungen. Beim binokularen Sehen hat unter Umständen die Perspektive diejenige Lokalisation zu überwinden (bezw. zu modifizieren), welche durch die Disparation der Netzhautbilder entstehen würde; beim monokularen Sehen, wo eine Disparation nicht gegeben sein kann, ist dann die Wirkung der Perspektive im allgemeinen eine stärkere, worauf unter anderem die Thatsache zurückzuführen ist, daß Gemälde, Photographien u. dergl. an Plastik gewinnen, wenn man sie mit einem Auge betrachtet.

Auf unseren Versuch angewendet, ergibt sich aus dem Gesagten folgendes:

Die horizontalen Fäden erleiden, wenn der mittlere vertikale Draht hinter der Ebene derselben liegt, da, wo sie der Draht berührt, merkliche Einknickungen, und diese geben ein empirisches Motiv für die Lokalisation ab. In der That sind ja derartige Einknickungen der horizontalen Linien und Verkürzungen ihrer einzelnen Abschnitte nur dann vorhanden, wenn das ganze Liniensystem kein ebenes ist, was uns durch die gewöhnlichen Erfahrungen an ebenen, gekrümmten oder gebrochenen Gittern hinreichend bekannt ist. Nur der in der Blickebene befindliche Horizontalfaden wird so eingeknickt, daß seine Einknickung auf die Lokalisation der Vertikalfäden keinen Einfluß haben kann, einfach deswegen, weil die Einknickung gar nicht gesehen wird. Bei den ober- oder unterhalb der Blickebene befindlichen Horizontalfäden ist dies natürlich nicht der Fall.

Das Erfahrungsmotiv der Perspektive wirkt, wie man sieht, im Widerspruche zu dem, was in der primitiven Empfindung selbst gegeben ist. Welches Motiv schliesslich überwiegt, wird von zufälligen Umständen und zum Teil gewiß auch von individuellen Eigentümlichkeiten abhängen. Bei mir z. B. hat, wenn im vorigen Versuche die Vertikalfäden wirklich in einer

Ebene liegen, die Thatsache, daß alle Knickungen und Ausbiegungen der Horizontalfäden verschwunden sind, auf die Lokalisation der Vertikalfäden nahezu gar keinen Einfluß; ich sehe in solchen Fällen die vertikalen Fäden in einer konvexen Fläche; ich lokalisiere sozusagen die vertikalen und horizontalen Fadensysteme ganz unabhängig von einander.

Dasselbe ist auch bei Herrn Professor HERING der Fall, der so gütig war, diese wie auch alle übrigen Beobachtungen zu kontrollieren. Es spricht jedoch nichts dagegen, daß Andere sich durch das Fehlen der Einknickungen in den horizontalen Fäden mehr oder vielleicht ausschließlich bei der Lokalisation der vertikalen Fäden bestimmen lassen und sozusagen beide Fadensysteme aufeinander beziehen, während, wie gesagt, Andere dies nicht thun.

§ 24. Nach dem Gesagten wird der Leser leicht erraten, wie ich den HELMHOLTZschen Versuch mit den Goldperlen auffasse. HELMHOLTZ hat die Perlen „in Zwischenräumen von etwa 4 cm voneinander befestigt“, also regelmäfsig angeordnet, wie zu vermuten, so, daß je drei Perlen in einer Geraden lagen, also die Kreuzungsstellen der drei vertikalen (gesehenen) Fäden mit drei horizontalen (hinzugedachten) Fäden darstellten. Somit können dieselben Effekte entstehen, die auch ich beobachtete, sobald ich (in der § 22 angegebenen Weise) die horizontalen mit den vertikalen Fäden in Verbindung brachte.

Es ist also gar nicht zu verwundern, wenn HELMHOLTZ die in einer konkaven Fläche liegenden Fäden als konkav erkannte. In der Höhendisparation war der Grund nicht gelegen. Aber auch, wenn die Querlinien (gerade oder solche von bekannter und regelmäfsiger Krümmung, wie bei dem Papierschnneider) sich nicht mitbewegen, kann es auf Zufälligkeiten oder auch individuelle Eigentümlichkeiten ankommen, ob die vertikalen und queren Linien in ihrer Lokalisation aufeinander bezogen werden oder nicht. Bei mir ist, wie gesagt, letzteres der Fall.

Daß übrigens der HELMHOLTZsche Versuch mit den Goldperlen in der oben beschriebenen Weise gedeutet werden muß, dafür giebt auch der Umstand Zeugnis, daß er ebenso ausfällt, wenn man ihn monokular anstellt. Ich habe zu diesem Zwecke vier Horizontalreihen von Papierschnitzelchen an den Kokonfäden befestigt und die letzteren bei einäugiger Betrach-

tung in eine Ebene zu stellen gesucht. Dies gelang ziemlich sicher, weil es sich dabei eben um nichts anderes handelt, als darum, die Schnitzel in gerade Linien zu bringen. Die kleinen Abweichungen von der Ebene fielen dabei sowohl im Sinne der Konkavität als auch der Konvexität aus.

Bei dem HELMHOLTZschen Versuche mit den Goldperlen ist es überdies sehr wohl möglich, das auch die scheinbare Gröfse der einzelnen Perlen, bzw. dafs Gröfser- oder Kleinerwerden derselben bei Näherung oder Entfernung einen Anhalt für die richtige Lokalisation der Fäden gegeben hat, was bei den Papierschnitzelchen wegen ihrer Kleinheit nicht möglich war

§ 25. In ähnlicher Weise dürften sich die HELMHOLTZschen Versuche mit den stereoskopischen Figuren erledigen, auf die ich jetzt zu sprechen komme.

HELMHOLTZ stellt<sup>1</sup> zunächst zwei Paare stereoskopischer Figuren dar. Das eine Paare *A* repräsentiert die Projektionen eines ebenen, nahe vor dem Gesicht befindlichen Schachbrettes, das andere Paar *B* die Projektionen eines cylindrisch gekrümmten (gegen den Beobachterkonvexen) fernen Schachbrettes.

Die Projektionen sind so gezeichnet (bzw. das Schachbrett, von dem die Projektionen stammen, in solcher Entfernung und Gröfse gedacht), dafs je zwei Vertikallinien von *A* denselben Abstand voneinander haben wie die homologen Vertikallinien von *B*; in Bezug auf die Vertikalen ist also das Paar *B* identisch mit dem Paare *A*. Die Querlinien des Paares *A* sind hingegen gerade, während die Querlinien des Paares *B* sehr merklich gekrümmt sind — wie dies eben bei Projektionen von ebenen und gekrümmten Flächen so sein mufs.

Nun entsteht bei haploskopischer Vereinigung der beiden Bilder des Paares *A* die Empfindung eines nahen ebenen, bei haploskopischer Vereinigung der Bilder des Paares *B* die eines gekrümmten Schachbrettes. Da nun, wie bemerkt, die Querdisparationen bei beiden Paaren dieselben sind, so kann — schliesst HELMHOLTZ — der verschiedene Tiefeneffekt nur in den beiderseits verschiedenen Höhendisparationen seinen Grund haben.<sup>2</sup>

Was nun die Vertikalen und ihre gegenseitigen Abstände

<sup>1</sup> *Physiol. Optik*, Taf. VI. *A* und *B*.

<sup>2</sup> *Physiol. Optik*, pag. 656.

anbelangt, so ist es richtig, daß sie ebenso von einem nahen ebenen, wie von einem fernen konvexen Schachbrett herrühren können. Aus späteren Versuchen wird hervorgehen, daß, wenn nur in der pag. 20 f. veranschaulichten Weise die gereizten Netzhautstellen dieselben sind, dies für die Empfindung vollkommen gleichgültig ist. Die geraden, bzw. krummen Querlinien aber geben für die erfahrungsmäßige Lokalisation des als eben Empfundene denselben Anhaltspunkt, wie in dem früher erwähnten Versuche die eingeknickten Horizontalfäden. Die dort angestellten Betrachtungen wären hier einfach zu wiederholen. Nur dies Eine möchte ich noch hinzufügen, daß die krummen Querlinien in dem Figurenpaare B schon bei bloß monokularer Betrachtung des einen oder andern Bildes die Vorstellung einer konvexen Fläche hervorzurufen geeignet sind. Da aber niemand daran denkt, der primitiven Empfindung beim monokularen Sehakt eine Variabilität der Tiefendimensionen zuzuschreiben, so liegt darin der beste Beweis, daß wir es hier mit einer durch die Erfahrung erzeugten Modifikation zu thun haben. Zur Entscheidung der Frage aber, ob in gewissen Fällen die primitive Empfindung selbst Tiefenunterschiede zeige oder nicht, eignet sich nichts schlechter als perspektivische Projektionen, weil gerade sie das geeignetste Material sind, auf das frühere Erfahrungen modifizierend wirken können.<sup>1</sup>

Nach den früheren Erörterungen über die zwei Motive von Sinnestäuschungen ist das Eben-Sehen der in einer konvexen oder konkaven Fläche liegenden Vertikallinien eine schon in der primitiven Empfindung begründete Täuschung über das wirkliche Ding. Durch Einführung von Querlinien können Bedingungen für eine solche Modifikation des primitiven Empfindungsinhaltes geschaffen werden, daß die thatsächlich resultierende Empfindung mit der Wirklichkeit übereinstimmt.

Als Ergebnis der Untersuchungen dieses Kapitels dürfen wir folgenden Satz aussprechen:

Die Vertikal- (oder Höhen-)Disparation ist ohne jeden Einfluß auf die Lokalisation in die Tiefe.

---

<sup>1</sup> Analoges gilt von einem dritten Paare stereoskopischer Figuren, welches die Projektionen eines fernen und konkaven Schachbrettes darstellt. Die im Texte angestellten Erörterungen sind hier — *mutatis mutandis* — zu wiederholen.



#### IV. Über den Einfluß der scheinbaren Entfernung der Kernfläche auf die binokulare Tiefenlokalisation.

§ 26. Das eine Moment, welches HELMHOLTZ zur Erklärung der mit der Wirklichkeit nicht übereinstimmenden Lokalisation in die Tiefe herangezogen hat — die Höhendisparation nämlich, bezw. der Mangel einer solchen — hat sich, wenn die Erörterungen des vorigen Kapitels richtig sind, als untauglich erwiesen. Wir haben nun noch das andere Moment, das HELMHOLTZ ebenfalls zur Erklärung jener „Täuschungen“ benutzt hat, auf seine Tauglichkeit zu prüfen: die mit der Wirklichkeit disharmonisierende scheinbare Entfernung eines Objektes vom Beobachter (vgl. § 17).

Ehe wir an die Prüfung dieses Erklärungsmittels gehen, mag ein Wort vorausgeschickt werden über die Bedeutung, die HELMHOLTZ selbst ihm beimißt.

In der früher citierten Stelle sagt der genannte Forscher, die Täuschung, vermöge der wir vertikale Fäden in eine gekrümmte Fläche bringen müssen, damit sie uns in einer ebenen zu liegen scheinen, rühre „nicht oder wenigstens nicht allein davon her, daß wir die Entfernung des Objekts unter ähnlichen Umständen meist als zu groß schätzen“, sie habe vielmehr ihren Grund in dem Mangel an Merkpunkten, welche Höhendisparationen erzeugen.

Wenn ich nicht irre, liegt hier ein Fehler im Gedankengang vor. Die falsche Schätzung der Entfernung des Mittelfadens — meint HELMHOLTZ — veranlaßt uns zu einer entsprechend falschen Beurteilung der relativen Lage der Seitenfäden; vorhandene Merkpunkte, die Höhendisparationen ergeben, korrigieren nach HELMHOLTZ unser Urteil. Nun sollte man doch meinen, daß HELMHOLTZ daraus den Schluß ziehen mußte: also wird unser Urteil, wenn alle Höhendisparationen mangeln, lediglich durch die (falsche) Schätzung der Entfernung bestimmt! Wenn ein irreführendes Motiv vorhanden ist, die entsprechende Korrektive aber mangelt, dann ist die Wirksamkeit des ersteren eben durch nichts gestört, und der resultierende Irrtum muß einzig und allein jenem täuschenden Motiv zur Last gelegt werden. Es ist daher nicht einzusehen, wieso die in Rede stehende Täuschung „nicht oder wenigstens nicht allein“ von der falschen Beurteilung der Distanz herrühren sollte.



Wenn also HELMHOLTZ an der citierten Stelle nachweist, daß die Fehler in der Schätzung der Entfernung viel größer sein müßten, als sie es in Wirklichkeit sind, falls die Täuschung über die relative Tiefenlage der Fäden sich daraus erklären sollte, so liegt eben darin — wie mir scheint — der beste Beweis für die Untauglichkeit jenes Erklärungsprinzipes.

§ 27. Wir werden uns nunmehr eingehender mit der Frage beschäftigen, welchen Einfluß die scheinbare Entfernung des fixierten Punktes auf die disparative Tiefenlokalisation hat.

Halten wir uns noch einmal das Erklärungsprinzip vor Augen, welches HELMHOLTZ hier maßgebend macht. Der Abstand zwischen zwei Vertikallinien, von denen die eine in, die andere außer der Medianebene gelegen ist, erscheint dem einen Auge unter anderem Gesichtswinkel, als dem andern; dieselbe Gesichtswinkeldifferenz würde einem fernen Liniensystem entsprechen, wenn dieses gegen den Beobachter konvex, einem nahen; wenn es gegen den Beobachter konkav wäre; unterschätzen wir also die Entfernung des Liniensystems, so müssen wir dasselbe für konkav, überschätzen wir sie, so müssen wir es für konvex halten. Die Fehler in der Beurteilung der Entfernung aber rühren daher, daß wir für dieselbe nur den höchst unsicheren Anhaltspunkt des Konvergenzgeföhles haben.

Ganz abgesehen nun davon, daß wir HELMHOLTZ selbst bemerken hörten, die Fehler, welche er bei der Schätzung der Entfernung macht, stimmten graduell nicht mit der Täuschung beim Konkav-, Eben- und Konvexsehen, — so wäre doch mindestens zu erwarten, daß die falsche Schätzung der Entfernung wenigstens der Richtung nach eine gewisse Konstanz zeige, in der Weise, daß eine gewisse (wirkliche) Entfernung oder ein gewisses Intervall von Entfernungen richtig geschätzt, größere Entfernungen unter-, kleinere überschätzt würden. Dies ist aber nach dem, was HELMHOLTZ darüber angiebt, nicht der Fall. Pag. 652 hören wir, „daß die Beurteilung der Entfernung nach der Konvergenz der Gesichtslinien unter günstigen Umständen, und wenn sie durch keinerlei beirrende Einflüsse gestört wird, ziemlich gute Resultate giebt“, daß sie aber leicht durch andere, widersprechende Momente überwogen werden könne. Pag. 650 werden Versuche mitgeteilt, die ergeben, daß HELMHOLTZ die Entfernung immer überschätzt, während WUNDT, der seine Versuche bei wirklichen Ent-

fernungen von 180 cm bis 40 cm angestellt hat, die Entfernung stets — und um ein Beträchtliches — unterschätzt. Pag. 655 wird bemerkt, daß, „wenn wir nur nach der Konvergenz der Gesichtslinien die Entfernung beurteilen, wir dieselbe gewöhnlich für kleiner halten, als sie wirklich ist, und sie überhaupt unsicher beurteilen.“ An der schon mehrfach citierten Stelle, pag. 655—56, heisst es: „Daß wir nun das Gesehene zweiäugige Bild bei den beschriebenen Versuchen so interpretieren, als gehörte es einem entfernteren Objekte an, rührt, wie ich glaube, nicht oder wenigstens nicht allein davon her, daß wir die Entfernung des Objekts unter ähnlichen Umständen meist als zu groß schätzen etc.“ Nach alledem läßt sich nur sagen, daß die Schätzung der Entfernung unsicher ist, nicht aber, daß sie — unter sonst gleichen Umständen — zu klein ausfällt, wenn die wirkliche Entfernung über einen gewissen Punkt (oder über ein gewisses Intervall) hinausgeht, zu groß, wenn sie hinter diesem zurückbleibt. Dieses aber müßte der Fall sein, wenn die Thatsache, daß wir ein System von Vertikallinien, die wirklich in einer Ebene liegen, in der Ferne als konkav, in der Nähe als konvex beurteilen, sich aus einer falschen Schätzung der Entfernung erklären lassen soll.

§ 28. Die sämtlichen Täuschungen über die Entfernung von Objekten, die HELMHOLTZ beobachtet hat (und die sich in der That immer wieder konstatieren lassen), dürften, wenn ich nicht irre, auf zwei Grundtypen zurückzuführen sein, die mir aber HELMHOLTZ nicht mit genügender Klarheit auseinanderzuhalten scheint:

1. Wir lokalisieren den fixierten Punkt in Übereinstimmung mit der Konvergenz, und insofern lokalisieren wir ihn richtig, d. h. wir lokalisieren ihn dorthin, wo sich die beiden Gesichtslinien schneiden. Hier ist bereits eine Täuschung möglich, dann nämlich, wenn die Konvergenz der wirklichen Entfernung des Objektes nicht angepaßt ist. Man braucht nur Prismen oder Doppelspiegel vor die Augen zu setzen, kurz für irgend welche Ablenkung der Lichtstrahlen zu sorgen; zugleich wird jedes Auge unwillkürlich sich so stellen, daß das Bild des betreffenden Objektpunktes auf die Stelle des deutlichsten Sehens fällt, also fixiert wird. Die Konvergenz entspricht dann nicht der Lage des wirklichen Punktes; und wenn das Urteil über die Entfernung des gesehenen Objektes mit dieser Kon-

vergenz übereinstimmt, so disharmonisiert es notwendig mit der wirklichen Entfernung des (wirklichen) Objektes. Um diese Art der Täuschung über die wahre Entfernung handelt es sich z. B. bei dem von HELMHOLTZ pag. 658 beschriebenen Versuche, den wir später (pag. 45 ff.) ausführlich besprechen werden. Hier sei nur bemerkt, daß bei diesem Versuche eine Kombination von zwei Prismen vor ein Auge gesetzt und so die Gesichtslinie von ihrer normalen Lage abgelenkt wird.

2. Die zweite Art der Täuschung über die Entfernung eines Objektes besteht darin, daß wir dasselbe gar nicht entsprechend der Konvergenz lokalisieren, so daß, wenn auch diese letztere der wahren Entfernung des Objektes angepaßt ist, die Lokalisation des Objektes dennoch falsch ausfällt. Diese Art von Täuschung ist die von HELMHOLTZ am meisten zur Erklärung des Konkav- oder Konvexsehens herangezogene. Sie findet statt, wenn wir die Entfernung von Objekten falsch auffassen, die wir in normaler Weise sehen, d. h. so, daß die Lichtstrahlen, ehe sie die Cornea treffen, keinerlei Ablenkung erfahren. Dieselbe Täuschung kann aber auch stattfinden, wenn wir zwei Stereoskopbilder vereinigen (ob dies nun mit oder ohne haploskopische Vorrichtung geschieht). Hier erscheint uns bei parallelen, ja selbst divergenten Gesichtslinien, das gesehene Objekt doch nicht in unendlicher Entfernung, wie es sein müßte, wenn die scheinbare Entfernung dem Konvergenzwinkel entspräche.

Natürlich können sich beide Arten von Täuschung kombinieren, in der Weise, daß sie beide gleichsinnig oder auch in entgegengesetztem Sinne wirken.

Wir werden in den sogleich zu beschreibenden Versuchen beide Arten von Täuschung zu isolieren trachten und für jede einzeln die Frage stellen, ob sie eine Änderung in der (disparativen) Tiefenlokalisierung zur Folge hat.

Selbstverständlich muß, wenn die Versuche irgend etwas beweisen sollen, stets dafür gesorgt werden, daß die Netzhautbilder sich trotz sonstiger Änderung der Versuchsumstände in keiner Weise ändern. Denn nur so sind wir im stande, darüber zu urteilen, ob Täuschungen über die Entfernung des Gesehenen vom Beobachter irgend welchen Einfluß auf die disparative Tiefenlokalisierung haben oder nicht.

Die folgenden zwei Fundamentalversuche dürften über die

Frage, ob die scheinbare Entfernung einen Einfluß auf die disparative Tiefenlokalisation habe, entscheiden.

§ 29. I. Versuch, in welchem die Kernfläche bei gleichbleibender Konvergenz verschieden lokalisiert wird.

Der Versuch wurde in folgender Weise angestellt:

An einem horizontalen zur Frontalebene parallelen Glasstab wurden zwei Gruppen von je drei mit Gewichten belasteten Fäden vermittle loser Schlingen so aufgehängt, daß, wenn die Gesichtslinien parallel und geradeaus gerichtet waren, jede Gesichtslinie auf den Mittelfaden einer der beiden Gruppen traf, wobei die Entfernung des Fadensystems vom Beobachter so gewählt werden muß, daß die Fäden trotz der Einstellung der Augen für ihren Fernpunkt hinreichend scharf erscheinen. (Die Mittelfäden müssen also um die Basallinie voneinander entfernt sein und symmetrisch zur Medianebene liegen.) Die Bilder der beiden Mittelfäden werden unter diesen Umständen verschmolzen. Die beiden Seitenfäden der einen (etwa der linken) Gruppe mögen eine beliebige Entfernung vom Mittelfaden haben; die Seitenfäden der anderen Gruppe können dann vermittle der losen Schlingen leicht an dem Glasstabe so verschoben werden, daß ihre Bilder erstens mit den Bildern der linken Seitenfäden überhaupt verschmelzen, und dann, daß die so einfach gesehenen Seitenfäden mit dem Mittelfaden zusammen in einer mit der Frontalebene parallelen Ebene erscheinen. Die scheinbare Entfernung der Ebene, in welcher die drei Fäden liegen, ist dabei je nach Umständen veränderlich. Hielt ich nahe hinter die Fäden, etwa  $\frac{1}{2}$  m von meinen Augen entfernt, einen Schirm, so schienen die drei Fäden unmittelbar dem Schirme anzuliegen, also ebenfalls in einer Entfernung von beiläufig  $\frac{1}{2}$  m, weil ja der Schirm richtig lokalisiert wurde. Da die scheinbare Entfernung der Ebene eine ganz unbestimmte, oder besser gesagt, je nach Umständen variable ist, so gelingt es unter geeigneten Verhältnissen leicht, sie beträchtlich zu vergrößern. Nach Wegnahme des Schirmes lokalisierte ich die Ebene der drei Fäden in eine Entfernung von etwa 6 m. Diese Lokalisation wurde wesentlich durch folgenden Umstand hervorgerufen: das Fadensystem stand vor einem offenen Fenster; das nächste sichtbare Objekt war ein etwa 6 m entfernter Baum, dessen

dunkles Geäste teilweise in das Feld der drei Fäden hineinragte. Wo nun eben ein Ast den Hintergrund für die, ebenfalls dunklen Fäden bildete, schienen diese, da sie sich an jenen Stellen nicht abhoben, unterbrochen zu sein, und dieser Umstand erweckte die Vorstellung, als deckte der Ast die Fäden stellenweise, bezw. als lägen die Fäden hinter dem Aste (dessen Entfernung vom Fenster mir wohl bekannt war.) Gemäfs der gröfseren scheinbaren Entfernung schienen mir dabei die dünnen Zwirnsfäden etwa wie 1 cm dicke Eisenstäbe — unmittelbar hinter dem betreffenden Aste liegend. Sie zeigten aber keinerlei Abweichung von der Ebene. Und umgekehrt: wenn ich den Versuch damit begann, dafs ich die Fäden in dem Falle, wo ich sie in etwa 6 m Entfernung lokalisierte, so stellte, dafs sie in einer zur Frontalebene parallelen Ebene erschienen, und dann den Schirm vorhielt, so blieben sie wiederum in einer Ebene, obwohl sie mir nun auf dem Schirm, also in einer Entfernung von etwa  $\frac{1}{2}$  m, zu liegen schienen.

Die variable scheinbare Entfernung war in allen diesen Fällen, wie man sieht, nicht in Übereinstimmung mit dem Konvergenzgrade, da ja die Gesichtslinien fortwährend parallel standen, eine Stellung, die einem unendlich fernen Objekte entspricht. Übrigens gelingt der Versuch auch bei konvergenten Gesichtslinien, solange nicht die gleichzeitige Anspannung der Accomodation die Konturen der entfernten Objekte verschwimmen macht und so ein Beziehen der scheinbaren Lage der Fäden auf diese Objekte verhindert.

Der Versuch beweist, dafs — unter Voraussetzung konstanter Konvergenz — diejenigen Objekte, welche bei einer gewissen Entfernung der Kernfläche in diese lokalisiert werden, auch dann in dieselbe lokalisiert werden, wenn sich die Entfernung der Kernfläche selbst ändert. Man kann diesen Satz auch so ausdrücken: bei konstanter Konvergenz ist die Gestalt des Längshoropters unabhängig von der scheinbaren Entfernung des im Längshoropter Gelegenen.

II. Versuche, in welchen bei wechselnder Konvergenz die scheinbare Entfernung gleichbleibt oder in einem viel geringeren Intervall wechselt,

als es dem Wechsel der Konvergenz entsprechen würde.

Zur Anstellung der folgenden Versuche habe ich mich eines Apparates bedient, der — wie man sehen wird — im wesentlichen mit WHEATSTONES Spiegelstereoskop übereinstimmt.<sup>1</sup>

Auf der rechteckigen Marmorplatte  $M$  (vgl. die Tafel) sind die beiden Metallplatten  $H$ , welche die Gestalt von Kreissektoren haben, mittels der Schrauben  $Q$  befestigt, und zwar so, daß sie sich etwas gegeneinander verschieben lassen. Um die mit den Metallplatten fix verbundenen Axen  $O$  sind die Schienen  $P$  beweglich und kann deren jedesmalige Stellung an der Kreisteilung abgelesen werden. Die Nullpunkte der beiden Teilungen liegen in der verlängerten Verbindungslinie der beiden Axen  $O$ . Mit den Schienen sind die Gestelle  $D$  fest verbunden, welche ihrerseits die mittels der Schrauben  $E$  fixierbaren kleinen Planspiegel  $S$  tragen. Die Spiegel drehen sich also, wenn die Schienen gedreht werden, um denselben Winkel wie diese. Auf den Schienen sind die Gestelle  $V$  mit den rechtwinkeligen Rahmen  $R$  in einer Schlittenführung verschiebbar. Die jeweilige Stellung kann an der auf den Schienen angebrachten Millimeterteilung abgelesen werden. An den Rahmen sind je vier Schraubenspindeln  $G$  angebracht, von denen jede unabhängig von der andern gedreht werden kann. Von den drei Kokonfäden  $A$ ,  $B$  und  $C$  sind die seitlichen ( $A$  und  $B$ ) an den oberen Schraubenspindeln mittels loser Schlingen (die natürlich im Tiefgang der Schrauben liegen) aufgehängt, ein Mal um die unteren Spindeln geschlungen und schließlich mit Gewichten belastet. Wird eine Schraube gedreht, so bewegt sich der Faden mit dem entsprechenden Ende längs des Rahmens weiter. Die jeweilige Stellung eines Fadens kann an den Fünftelmillimeterteilungen, die auf den horizontalen Stücken der Rahmen angebracht sind und ihren Nullpunkt in der Mitte derselben haben, abgelesen werden. Der Mittelfaden  $C$  ist nicht verschiebbar. Hingegen kann der Rahmen als ganzer in der Führung  $F$  verschoben werden.

Das Haploskop muß, ehe es zu Beobachtungen verwendet wird, in nachstehender Weise justiert werden:

<sup>1</sup> Der Apparat ist nach Herrn Prof. HERINGS Angaben vom Prager Universitätsmechaniker Herrn Rudolf Rothe gebaut worden. (Vergl. auch HERING in *Hermanns Handb.* III. Bd., I. T., pag. 393—94.)



1. Die beiden sektorenförmigen Platten, welche die Spiegel, Schienen und Rahmen tragen, müssen so gestellt werden, daß der Abstand der Axen  $O$  gleich ist der Verbindungslinie der Drehpunkte der Augen des jeweiligen Beobachters (der sogen. Grund- oder Basallinie).

2. Die beiden Spiegel müssen, wenn die Schienen auf dem Nullpunkt der Kreisteilung stehen, gegen die Medianebene (oder auch Frontalebene) um  $45^\circ$  geneigt sein, oder, was dasselbe ist: die Spiegel müssen, wenn beide Schienen auf dem Teilstrich 45 stehen, zur Medianebene parallel sein.

3. Wenn bei Nullstellung der Schienen der Beobachter seinen Kopf so stellt, daß die Augen lotrecht über die Axen  $O$  zu liegen kommen und nun mit parallel geradeaus gerichteten Gesichtslinien in die Spiegel blickt, so müssen die Bilder der beiden Mittelfäden  $C$  auf die beiden mittleren Längsschnitte fallen und daher einfach gesehen werden. Dies wird durch passende Verschiebung der Rahmen in der Führung  $F$  erzielt.

Wenn man, während man in der bezeichneten Weise in die Spiegel blickt, die Schienen und damit auch die Rahmen dreht, so müssen, da auch die Spiegel sich drehen, die Augen aus der Primärstellung in immer stärkere Konvergenz übergehen, vorausgesetzt, daß sie den einfach erscheinenden Mittelfaden dauernd fixieren, was übrigens ganz unwillkürlich vor sich geht. Man sieht leicht, daß die Summe der Winkel, um welche jede einzelne Schiene aus ihrer Nulllage gedreht wurde, den jeweiligen Konvergenzwinkel angiebt.

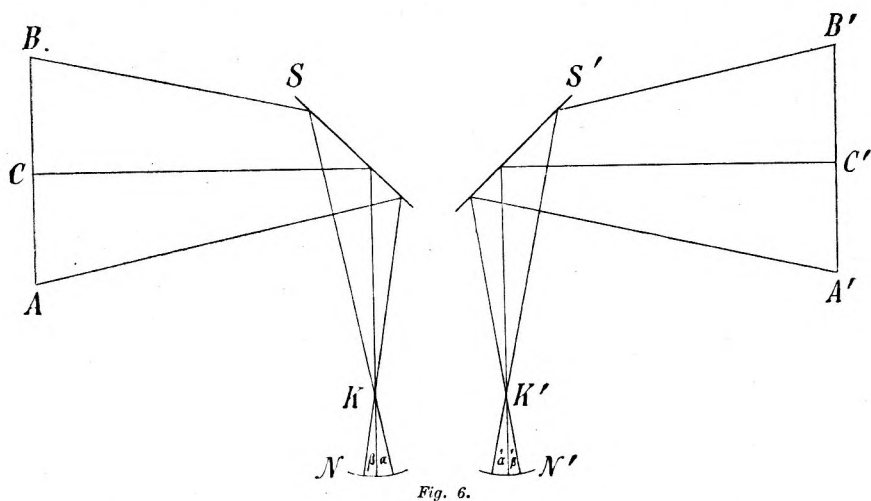
Bei den folgenden Versuchen kommt es nun wiederum darauf an, die Fäden so zu stellen, daß die drei Verschmelzungsbilder in einer zur Frontalebene parallelen Ebene erscheinen, und zwar natürlich dann, wenn die beiden Rahmen von den bezüglichen Spiegeln gleich weit abstehen (was an der auf den Schienen angebrachten Millimeterteilung ersichtlich ist.)

In der nebenstehenden Figur 6 ist die Versuchsanordnung schematisch veranschaulicht.  $N$  und  $N'$  sind die beiden Netzhäute,  $K$  und  $K'$  die beiden mittleren Knotenpunkte,  $S$  und  $S'$  die beiden (bei der Nullpunktstellung der Schienen unter  $45^\circ$  gegen die Frontalebene geneigten) Spiegel.  $C$  und  $C'$  sind die mit den Rahmen fix verbundenen,  $A$  und  $A'$ ,  $B$  und  $B'$  die mittels der Schraubenspindeln verstellbaren Fäden.



Die Versuche werden nun in folgender Weise angestellt:

Die Rahmen werden zunächst in eine beliebige, aber beiderseits gleiche Entfernung von den Spiegeln gestellt, die Schienen auf beiderseits denselben Grad der Teilkreise gesetzt, so daß, wenn die Bilder von  $C$  und  $C'$  verschmelzen, die Konvergenz eine symmetrische ist. Die Fäden  $B$  und  $B'$  werden in eine beliebige (gleichgültig, ob gleiche oder verschiedene) Entfernung von  $C$  bzw.  $C'$  gestellt. Während nun der Beobachter mit passender Konvergenz in die Spiegel blickt (also so, daß die Mittelfäden sich beiderseits auf dem mittleren Längsschnitt



abbilden und daher einfach und lotrecht erscheinen), bewegt er mittels der Schraubenspindeln die Fäden  $A$  und  $A'$  so, daß die Bilder von  $A$  und  $B'$  verschmelzen und ebenso die Bilder von  $A'$  und  $B$  und daß weiter die nun einfach gesehenen Seitenfäden in einer durch den (ebenfalls einfach gesehenen) Mittelfaden gehenden, mit der Frontalebene parallelen Ebene erscheinen, oder — kurz gesagt — in die Kernfläche lokalisiert werden. Während nun der Beobachter, den Mittelfaden fixierend, in die Spiegel sieht, dreht er die Schienen symmetrisch um ihre Axen und achtet darauf, ob die drei Fäden fortfahren, in einer zur Frontalebene parallelen Ebene zu liegen, oder ob der Mittelfaden vor- bzw. zurücktritt. Man sieht, daß bei diesem Versuche die beiderseitigen Netzhautbilder ganz unverändert bleiben und sich nur der Konvergenzgrad ändert.

Die numerischen Werte der Abstände der Fäden voneinander und von den Spiegeln und der daraus sich ergebenden Gesichtswinkel sollen später mitgeteilt werden. (Siehe die Tabelle am Schlusse der Abhandlung). Hier aber sei sogleich bemerkt, daß, wenn die Fäden bei einer bestimmten Konvergenz in einer zur Frontalebene parallelen Ebene erschienen, dies auch bei beliebiger Variierung der Konvergenz der Fall war, daß also die Konvergenz keinen Einfluß auf die Lokalisation vor, in oder hinter die Kernfläche hatte.

§ 30. Eines Umstandes muß hier Erwähnung gethan werden, der einerseits der Variierung der Konvergenz engere Grenzen setzt, als dies vermöge des normalen Konvergenzintervalles der Fall wäre, und der andererseits scheinbare Ausnahmen des obigen Satzes nach sich zieht. Ich meine die physiologische Association der Konvergenz mit der Accommodation. Mit der Mehrung der Konvergenz geht bekanntlich eine Accommodation für die Nähe parallel, mit der Minderung ein Nachlassen derselben. Beim Sehen unter normalen Umständen ist diese Association sehr zweckmäßig; für haplo-skopische Versuche (wie die hier beschriebenen) wirkt sie störend. Wenn die Fäden bei einer bestimmten Konvergenz scharf erscheinen, so werden sie bei einigermaßen erheblicher Mehrung oder Minderung der Konvergenz verschwommen, da die Accommodationsmuskulatur gleichzeitig angespannt bzw. entspannt wird, die Spiegelbilder der Fäden aber ihre Entfernung von den Augen nicht ändern. Bei Menschen mit normaler Accommodationsbreite ist also das Intervall, innerhalb dessen beim obigen Versuche die Konvergenz variiert werden kann, kein sehr großes. Mäßige Myopie und geringe Accommodationsbreite, wie sie sich im Alter einstellt, geben die günstigsten Versuchsbedingungen. Auch kann man durch Einträufeln von Atropin die Accommodationsmuskulatur lähmen; dies ist für die Zwecke unseres Versuches nur bei (mäßiger) Myopie zu empfehlen, da emmetropische oder hypermetropische Augen nach Atropinisierung die Fäden nie scharf sehen können.

Der genannte Umstand ist noch in anderer Beziehung von Wichtigkeit. Wenn man die Fäden bei einem Konvergenz- und dementsprechenden Accommodationszustand, bei welchem sie verschwommen erscheinen, in eine scheinbare Ebene ein-

zustellen sucht, so kann diese Einstellung ungenau werden. Ändert man nun die Konvergenz (und damit die Accommodation) so, daß scharfe Bilder entstehen, so macht sich diese Ungenauigkeit geltend, indem dann die Fäden nicht mehr notwendig in einer Ebene erscheinen. Man muß daher die Einstellungen bei passender Accommodation machen.<sup>1</sup>

§ 31. Für die theoretische Verwertung des Versuches ist es aber nicht hinreichend, zu wissen, daß Konvergenzänderungen keinen Einfluß auf die Lokalisation in Bezug auf die Kernfläche haben; es ist vielmehr wichtig, überdies festzustellen, was sich im Phänomene ändert, wenn die Konvergenz variiert wird.

Wenn man bei gleichbleibenden Netzhautbildern die Konvergenz vermehrt, indem man die Arme des Haploskopes und damit die Spiegel in passender Weise dreht, so gewinnt man den Eindruck, daß die (einfach gesehenen) Fäden näher rücken. Das Intervall, in welchem das Fadensystem seine scheinbare Entfernung wechselt, ist indessen um vieles kleiner, als es sein müßte, wenn die scheinbare Entfernung der jeweiligen Konvergenz entspräche. So ist sie bei parallelen Gesichtslinien weder unendlich groß (wie dies der Konvergenz 0 entsprechen würde), noch auch so groß, daß sie sich mit der scheinbaren Entfernung ferner Berge, der Sterne oder des Mondes vergleichen ließe. Ich kann nicht einmal sagen, daß mir die Fäden bei dem früher angestellten Versuche auch nur bis zu 1 m entfernt erschienen, selbst dann, wenn die Gesichtslinien etwas divergierten. Andererseits erscheint mir bei stärkster Konvergenz das Fadensystem bei weitem nicht so nahe, als es der Konvergenz entsprechend erscheinen müßte. Von beidem überzeugt man sich leicht, wenn man unmittelbar nach der Beobachtung mit dem Finger oder mittels eines Stabes die Stelle aus dem frischen Gedächtnis anzugeben sucht, in welcher die Fäden bei stärkster und schwächster Konvergenz zu liegen scheinen. Blickt man

---

<sup>1</sup> Es verhält sich hier ähnlich, wie bei Farbengleichungen. Diese bleiben bestehen, wenn auch die Beleuchtungsintensität geändert wird. Nichtsdestoweniger wird eine Gleichung, wenn sie bei einer Beleuchtungsintensität hergestellt war, für welche die Unterschiedsempfindlichkeit gering ist, im allgemeinen nicht bestehen bleiben, wenn Intensitäten angewendet werden, für welche die Unterschiedsempfindlichkeit eine wesentlich größere ist.

während der Konvergenzänderung in die Spiegel des Apparates, so entsteht der Eindruck des Näherrückens mit solcher Energie, daß man das Intervall, innerhalb dessen die Änderung der scheinbaren Entfernung vor sich geht, stark zu überschätzen geneigt ist: die Fäden scheinen beträchtlich näher zu rücken, befinden sich aber zum Schlusse in einer scheinbaren Entfernung, die von der ursprünglichen nur wenig abweicht. Derartige Widersprüche in der Deutung einer Empfindung sind ja auch anderwärts bekannt.

Doch dies nur nebenbei. Uns kommt es vor allem darauf an, daß, wenn die Konvergenz in den weitestmöglichen Grenzen geändert wird bei sehr geringer Änderung der scheinbaren Entfernung, die Lokalisation in Bezug auf die Kernfläche dabei keinerlei Änderungen erleidet.

§ 32. Immerhin erschien es als wünschenswert, Versuchsbedingungen einzuführen, unter welchen bei wechselnder Konvergenz die Lokalisation der Kernfläche selbst sich nicht bloß um wenig ändert, sondern geradezu konstant bleibt und überhaupt weniger unbestimmt ist, als unter den vorerwähnten Umständen. Zu diesem Zwecke wurden zunächst die belegten Spiegel durch unbelegte ersetzt (ich verwendete geschliffene Deckgläschen); Objekte (Schirme u. dgl.), die hinter dem Haploskop standen, waren daher im durchfallenden Lichte sichtbar und konnten so einen Anhaltspunkt für die Lokalisation der im reflektierten Licht zugleich gesehenen Fäden geben. Wird dann hinter den Apparat ein Schirm gesetzt, so lokalisiert man die drei Fäden innerhalb eines sehr beträchtlichen Konvergenzintervalles doch immer auf den Schirm, dessen scheinbare Entfernung sich hierbei nicht ändert. Auch hier wieder erschienen die Fäden, wenn sie für eine bestimmte Konvergenz in eine Ebene gestellt waren, auch bei jeder andern Konvergenz in einer Ebene.

Da mir die Fäden jedoch, wenn die Konvergenz einen gewissen Grad überschritten hatte, doch nicht mehr auf dem dahinterstehenden Schirm erschienen, sondern vor demselben, brachte ich einige bekannte Motive der empirischen Lokalisation in Anwendung, um die Fadenbilder bei jeder Konvergenz in dieselbe Entfernung zu lokalisieren.

Zunächst brachte ich auf dem Schirm Objekte von be-

kannter Gröfse (es wurden Briefmarken verwendet) an, um mich einer bestimmten und unveränderlichen Lokalisation des Schirmes zu vergewissern. Damit diese Objekte nicht bei ungeeigneter Konvergenz in Doppelbilder zerfielen, wurde der eine der beiden Spiegel undurchsichtig gemacht, so daß der Schirm mit den Briefmarken blofs monokular gesehen wurde. Ferner wurde je ein weißer Papierstreifen quer über jeden der beiden Rahmen gespannt, und zwar in gleicher Höhe, so daß beiderseits korrespondierende Stücke der Fäden von den Streifen verdeckt und also unsichtbar gemacht wurden. Auf den direkt und monokular gesehenen Schirm wurde ebenfalls ein horizontaler Papierstreifen geklebt in solcher Gröfse und Lage, daß er sich mit den im reflektierten Licht gesehenen seitlichen Streifen deckte. Da nun die Fäden an der Stelle des Streifens unterbrochen waren, schienen sie durch den Streifen teilweise gedeckt und somit jedenfalls nicht vor demselben zu liegen; hinter den Schirm wurden sie — begreiflicherweise — auch nicht lokalisiert. Aus beiden Momenten resultierte nun der deutliche Eindruck, als lägen die Fäden unmittelbar auf dem Schirm, seien aber durch einen auf dem Schirm befestigten Papierstreifen zum Teil verdeckt. Auf diese Weise kann die Kernfläche sozusagen an eine bestimmte Stelle gebannt werden.

Die wechselnde Konvergenz hat unter solchen Umständen gar keinen Einfluß auf die Lokalisation der Kernfläche, namentlich dann nicht, wenn während des Konvergenzwechsels weggesehen wird, oder die Augen geschlossen werden, da die Veränderung selbst mit besonderer Energie sich der Empfindung aufzudrängen strebt.

Auch bei dieser Form des Versuches ändert die Konvergenz nichts an der Lokalisation in Bezug auf die Kernfläche; die Fäden bleiben, wenn sie bei irgend einem Konvergenzgrade in einer mit der Frontalebene parallelen Ebene erscheinen, auch bei beliebig veränderter Konvergenz in einer Ebene.

Die letzterwähnte Versuchsanordnung bildet das Gegenstück zu der pag. 36 f. beschriebenen. Während dort die scheinbare Entfernung der Fäden wechselt bei konstanter Konvergenz — bleibt hier die scheinbare Entfernung dieselbe bei wechselnder Konvergenz.

Sämtliche von HELMHOLTZ angezogenen Täuschungen über

die Entfernung von Objekten gehen auf einen der beiden Typen, oder auf eine Kombination beider zurück. Überall aber hat sich gezeigt, daß diese Täuschungen auf die disparative Tiefenlokalisation ohne Einfluß sind.

§ 33. Indessen steht den mitgeteilten Resultaten noch ein von HELMHOLTZ angegebener Versuch entgegen, der in einfacher und schlagender Weise darzuthun scheint, daß die Lokalisation in Bezug auf die Kernfläche variiert, wenn die Konvergenz wechselt. Ich will den betreffenden Versuch mit HELMHOLTZ' eigenen Worten wiedergeben.

HELMHOLTZ sagt:<sup>1</sup>

„Da es sehr schwierig ist, ausser durch Maschinen eine hinreichend genaue Übereinstimmung der vertikalen Linien in stereoskopischen Bildern hervorzubringen, habe ich Versuche über den Einfluß der Konvergenz noch in folgender Weise angestellt. Ich habe zwei rechtwinkelige Prismen nebeneinander befestigt, so daß ihre Querschnitte wie die rechtwinkligen Dreiecke in Fig. 193 (durch Fig. 7 dargestellt) liegen,

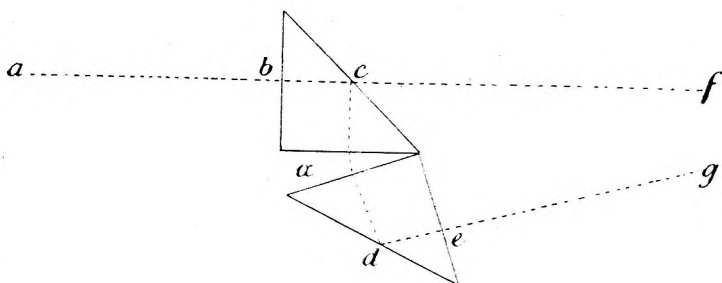


Fig. 7.

daß ihre Kanten einander parallel und zwei ihrer Kathetenflächen unter einem kleinen Winkel  $\alpha$  gegeneinander geneigt sind. Trifft der Strahl  $af$  bei  $b$  nahehin senkrecht auf eine Kathetenfläche solcher Prismen, so wird der Strahl zweimal bei  $c$  und  $d$  reflektiert, wie die Figur anzeigt, und tritt schliesslich aus der letzten Fläche in der Richtung  $eg$  von seiner ersten Richtung aus um einen Winkel abgelenkt, der das Doppelte des Winkels  $\alpha$  beträgt. Wenn man in der angegebenen Weise durch ein solches Doppelprisma bei senkrechter Stellung seiner Kanten blickt, so sieht man genau dasselbe Netzhautbild, wie mit bloßem Auge, aber, um es zu sehen, muß man das Auge etwas mehr nach rechts oder links wenden, als es ohne das Prisma nötig wäre.“

„Blickt man durch ein solches Prisma nach drei parallelen vertikalen Fäden, die in einer Ebene sich befinden, und deren mittelster daher

<sup>1</sup> HELMHOLTZ, *Physiol. Optik*, pag. 657 f.



den unbewaffneten Augen ein wenig vor die Ebene der beiden anderen vorzutreten scheint, so muß man die Augen, je nachdem man die Fläche  $b$  oder  $e$  des Prismas ihm zukehrt, mehr konvergieren oder mehr divergieren lassen, als vorher, sieht aber genau dieselben Netzhautbilder. Im Falle die Divergenz vergrößert wird, erscheint der mittlere Faden noch stärker vortretend als bisher; im Falle die Konvergenz vermehrt wird, tritt er in die Ebene der anderen scheinbar zurück, oder sogar hinter dieselbe. Da die Prismenzusammenstellung eine ganz geringe telestereoskopische Wirkung hat, so bringe man für Konvergenz die Fläche  $e$  vor das rechte, für Divergenz  $b$  vor das rechte Auge; oder man bringe nacheinander beide Flächen vor das linke Auge; die telestereoskopische Wirkung des kleinen Apparates ist in den ersten beiden Fällen gleich, wo der Abstand der Gesichtspunkte durch die Prismen vergrößert wird, und ebenso in den letzteren beiden Fällen, wo dieser Abstand verkleinert wird.“

„Aus diesem Versuche folgt, daß dieselben Netzhautbilder die Vorstellung eines konkaven, ebenen oder konvexen Objektes hervorbringen, je nachdem die Konvergenz der Augen größer oder kleiner ist, daß also die Konvergenz bei solchen Objekten wohl beachtet wird.“

§ 34. In der That entstehen (wovon ich mich durch Wiederholung des Versuches überzeugt habe) die von HELMHOLTZ angegebenen Tiefeneffekte, wenn man die Prismenkombination in der beschriebenen Weise zur Anwendung bringt.

Trotz alledem scheint mir der Versuch durchaus nicht beweisend, und zwar aus dem einfachen Grunde, weil bei Verwendung der erwähnten Prismenkombination nicht nur der Konvergenzgrad sich ändert, sondern auch das Netzhautbild des einen (bewaffneten) Auges ein anderes wird, was HELMHOLTZ irrthümlicherweise in Abrede stellt. Auf diese Änderung des Netzhautbildes ist in Wahrheit das Vor- oder Zurücktretens des Mittelfadens zurückzuführen, wie sogleich zu zeigen versucht werden soll.

Die Lichtstrahlenbündel, welche von den drei Fäden ausgehen, erfahren beim Durchgang durch die Prismenkombination eine viermalige Brechung (entsprechend den vier Kathetenflächen) und eine zweimalige totale Reflexion (an den beiden Hypotenusenflächen). Wir wollen nun verfolgen, welche Änderungen die drei Fadenbilder bei der Brechung und bei der totalen Reflexion durchmachen, und welche Tiefeneffekte dabei zu erwarten sind, da doch im anderen (unbewaffneten) Auge keine Änderungen des Netzhautbildes eintreten.

a) Die Änderungen durch Brechung bestehen nur in einer proportionalen Vergrößerung der Abstände der seit-

lichen Fadenbilder vom mittleren Fadenbild. Wenn also beispielsweise die Seitenfäden vom Mittelfaden gleich weit entfernt waren, so sind sie nach der Brechung wieder gleich weit von ihm entfernt; nur hat die beiderseitige Entfernung zugenommen. Standen nun die Fäden so, daß sie ohne die Prismen in einer mit der Frontalebene parallelen Ebene erschienen, so wird vermöge der Brechung das Bild im einen Auge symmetrisch vergrößert, während das Bild, welches das andere Auge erhält, gleichbleibt. In diesem Falle muß der eine der beiden Seitenfäden in gekreuzter, der andere in ungekreuzter Disparation gesehen werden; d. h., der eine muß vor, der andere hinter der Ebene des fixierten Fadens erscheinen. Die Fäden bleiben dabei zwar in einer Ebene, aber in einer Ebene, welche nicht mehr mit der Frontalebene parallel, sondern gegen diese geneigt ist.

Man kann dies deutlich sehen, wenn man, während man auf die drei vertikalen Fäden blickt, vor das eine Auge eine beträchtlich dicke planparallele Platte setzt; die Ebene, in der nunmehr die gesehenen Fäden liegen, erscheint um den Mittelfaden gedreht.

Auch mit Hilfe des früher erwähnten Haploskopes ist dies deutlich zu machen. Man braucht nur, wenn die Fäden so eingestellt sind, daß sie in einer zur Frontalebene parallelen Ebene erscheinen, den einen der beiden Rahmen dem zugehörigen Spiegel zu nähern und dadurch das Netzhautbild des einen Auges symmetrisch zu vergrößern: sofort dreht sich die Ebene der Fäden um den fixierten Mittelfaden als Axe.

Soweit es sich also um bloße Brechungen handelt, entsteht ein Tiefeneffekt nur in dem Sinne, daß die Objekte auf der einen Seite des fixierten Punktes in die Ferne rücken, die Objekte auf der anderen Seite in die Nähe; die Sehfläche neigt sich gegen die Kernfläche um eine vertikale, durch den Fixationspunkt gehende Axe.

Anders, wenn es sich um Reflexionen handelt.

b) Die Änderungen durch Reflexion. Die durch Spiegelung entstehenden Bilder von drei, z. B. in einer Geraden liegenden Punkte haben in ihrer Projektion auf die Netzhaut im allgemeinen nicht nur verschiedene, sondern auch disproportional verschiedene Abstände.

In Fig. 8 seien  $O$  und  $O'$  die mittleren Knotenpunkte der beiden Augen,  $A$ ,  $B$  und  $C$  drei in einer Ebene liegende

Punkte, in welchen die vertikalen Fäden die Blickebene schneiden (und zwar sei  $AB = BC$ ); das linke Auge sehe die Fäden direkt, vor dem rechten Auge befänden sich die Spiegel  $S_1$  und  $S_2$ , die zunächst miteinander parallel stehen sollen. Die Bilder, welche der Spiegel  $S_1$  von den Punkten  $A$ ,  $B$  und  $C$  giebt, liegen dann in  $A'$ ,  $B'$  und  $C'$ . Der Spiegel  $S_2$  giebt von diesen Bildern die weiteren Bilder  $A''$ ,  $B''$  und  $C''$ . Es verhält sich also so, wie wenn das Auge  $O$  drei Fäden in  $A''$ ,  $B''$  und  $C''$  sähe. Die Figur zeigt bereits, daß die

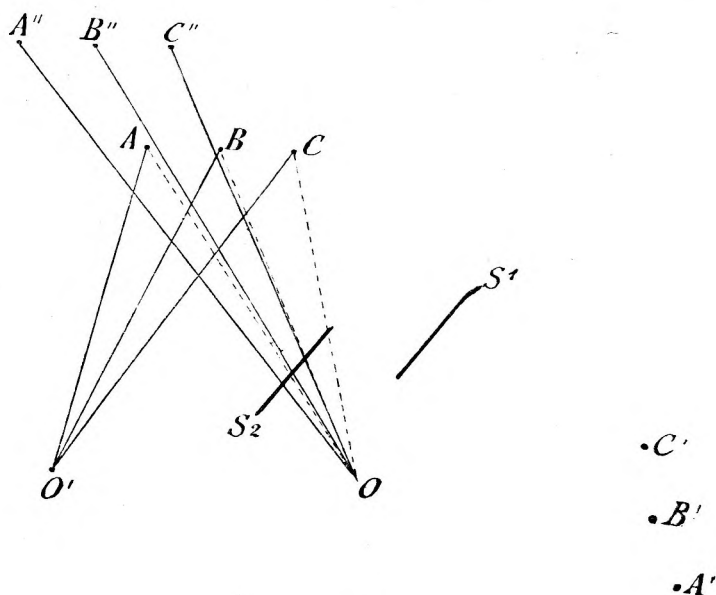


Fig. 8.

Distanzen  $A''B''$  und  $B''C''$  unter kleinerem Gesichtswinkel erscheinen, als die Distanzen  $AB$  und  $BC$ ; weiter aber sieht man, daß der Gesichtswinkel  $A''OB''$  gegenüber  $AOB$  stärker verkleinert ist, als  $\sphericalangle B''OC''$  gegenüber  $\sphericalangle BOC$ ; mit anderen Worten, daß die Gesichtswinkel keine proportionale Verkleinerung erfahren haben, sondern daß der der äußeren Netzhaut entsprechende Gesichtswinkel stärker verkleinert wurde, als der der inneren entsprechende. Im Auge  $O'$  haben die Gesichtswinkel keinerlei Veränderung erlitten.

Nun ist leicht zu ersehen, welche Tiefeneffekte hieraus resultieren müssen.

Vermöge der Verkleinerung der Gesichtswinkel für das rechte Auge überhaupt muß sich die durch die Seitenfäden gelegte Ebene gegen die Frontalebene neigen, und zwar so, daß sie links ferner erscheint, als rechts. Wie leicht ersichtlich, würden ja, wenn die drei Fäden in einer Ebene aufgestellt würden, deren rechte Seite dem Beschauer näher liegt, als die linke, die Gesichtswinkel für das rechte Auge kleiner sein müssen, wie für das linke.

Wichtiger aber ist das Moment der disproportionalen Verkleinerung der Gesichtswinkel. Wenn der Gesichtswinkel auf der äußeren Netzhaut des rechten Auges relativ verkleinert wird (wie in unserem Falle), so muß — *ceteris paribus* — der fixierte Punkt vor der Ebene der seitlichen Punkte erscheinen. Man sieht ja leicht, daß, wenn drei in einer Ebene gelegene Punkte binokular betrachtet werden und nun der mittlere Punkt dem Beschauer genähert wird, der der äußeren Netzhaut-hälfte entsprechende Gesichtswinkel sich gegenüber dem inneren verkleinert.

In dieser letzteren Beziehung erleidet (wie aus früher Gesagtem hervorgeht) der Versuch keine Änderung, wenn man anstatt der beiden Spiegel zwei rechtwinkelige Prismen verwendet, deren Hypotenusenflächen so stehen, wie die Spiegel  $S_1$  und  $S_2$  in der obigen Figur. Denn da die Brechungen nur proportionale Verkürzungen der Fadendistanzen zur Folge haben, so wird zwar die Neigung der durch die Seitenfäden gehenden Ebene gegen die Frontalebene eine andere sein, als wenn es sich (wie in der Figur) nur um Planspiegel handelt; die disproportionale Distanzänderung aber, welche durch die totalen Reflexionen herbeigeführt wird, wird im selben Sinne verlaufen, wie wenn man nur Spiegel anwendet: der Mittelfaden wird ebenfalls vortreten müssen. Man überzeugt sich davon leicht, wenn man die von HELMHOLTZ verwendete Prismenkombination (siehe pag. 45) mit der Fläche  $e$  vor das rechte Auge bringt und die Kathetenflächen parallel stellt (so daß  $d=0$  wird).

§ 35. Die beiden folgenden Figuren (Figg. 9 und 10.) veranschaulichen die Versuche, welche HELMHOLTZ mit der beschriebenen Prismenkombination angestellt hat. Auch hier sind wieder die Brechungen aus dem angeführten Grunde vernachlässigt und nur die Hypotenusenflächen gezeichnet, so,

wie wenn es sich nur um zwei gegeneinander geneigte Planspiegel handelte.

In Fig. 9 zeigen die punktierten Linien, unter welchem Gesichtswinkel die Distanzen  $AB$  und  $BC$  dem rechten Auge erscheinen würden, wenn es — bei Abwesenheit der Spiegel — direkt auf  $B$  blicken würde; der Winkel  $AOB$  ist dabei beträchtlich kleiner, als  $BOC$ . Werden die Spiegel  $S_1$  und  $S_2$  vorgesetzt, und blickt das rechte Auge auf die (zweiten) Spiegelbilder  $A'', B'', C''$ , so sind die Gesichtswinkel  $A''OB''$  und  $B''OC''$  nahe gleich, und außerdem sind sie beide größer, als

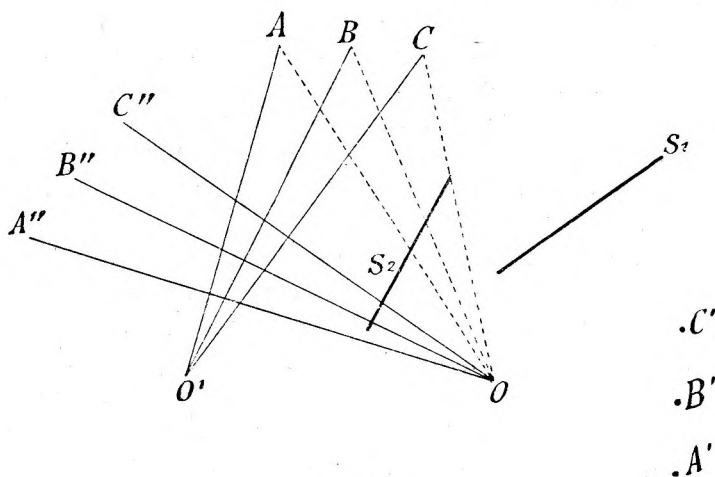


Fig. 9.

die homologen Winkel  $AOB$  und  $BOC$ . Wegen dieses letzteren Umstandes muß die Fläche, in der das binokulare Bild der drei Fäden liegt, zur Frontalebene geneigt erscheinen, und zwar so, daß die linke Seite der Fläche dem Beschauer näher erscheint, als die rechte. Weiter aber muß, da  $A''OB''$  gegenüber  $AOB$  stärker vergrößert ist, als  $B''OC''$  gegenüber  $BOC$ , der mittlere Faden hinter der Ebene der Seitenfäden erscheinen. In der That erscheinen die Fäden in einer gegen den Beschauer konkaven Fläche — gleichgültig, ob man nun Prismen oder Planspiegel anwendet. (In der Zeichnung ist die gegenseitige Neigung der Spiegel stark übertrieben im Interesse der Deutlichkeit.)

In Fig. 10 bewirken die Spiegel eine Verkleinerung der Gesichtswinkel des rechten Auges. Die Fläche, in der die

Punkte (oder Fäden) erscheinen, muß also links entfernter erscheinen als rechts. Außerdem aber ist der Gesichtswinkel auf der äußeren Netzhaut relativ stärker verkleinert; der mittlere Punkt (oder Faden) muß also vorspringen. Man sieht ja leicht, daß, wenn die drei Punkte ohne Prismen oder Spiegel angesehen würden, eine Verkleinerung des Gesichtswinkels auf der äußeren Netzhaut nur durch Annäherung des mittleren Punktes herbeigeführt werden könnte.

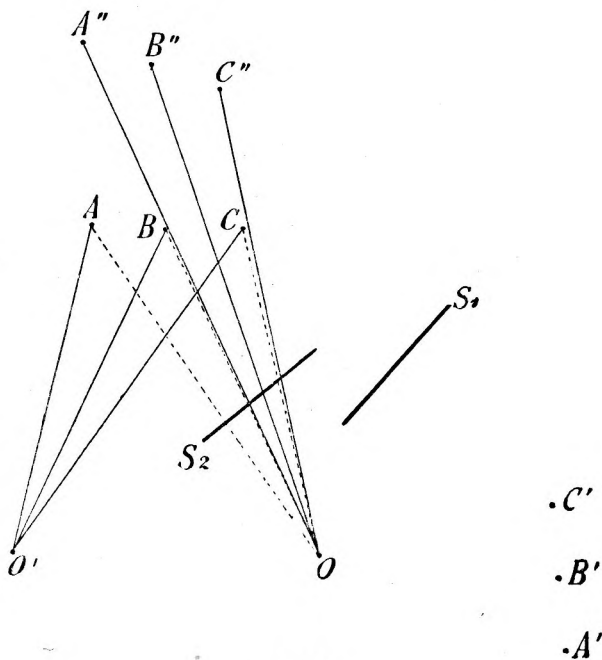


Fig. 10.

Die beiden eben angeführten Fälle sind aber gerade diejenigen, auf welche sich HELMHOLTZ an der citierten Stelle seiner Argumentation stützt. Es zeigt sich also, daß vermöge der totalen Reflexionen an den Hypotenusenflächen der Prismen in dem einen Netzhautbilde Änderungen gesetzt werden, welche die von HELMHOLTZ beobachteten Tiefeneffekte notwendig herbeiführen müssen. Auf diesen Änderungen des einen Netzhautbildes also, und nicht auf den (allerdings bestehenden) Wechsel der Konvergenz muß das Zurück- oder Vortreten des Mittelfadens zurückgeführt werden.



§ 36. Es ist nicht schwer, die Versuchsumstände so einzurichten, daß dasjenige Auge, vor welches die Prismen (oder Spiegel) gesetzt werden, dieselbe Stellung einnimmt, die es haben muß, wenn es direkt auf die Fäden sieht. Fig. 11 veranschaulicht einen solchen Fall.

Das rechte Auge muß, um den Punkt  $B''$  (das zweite Spiegelbild von  $B$ ) zu fixieren, dieselbe Stellung einnehmen,

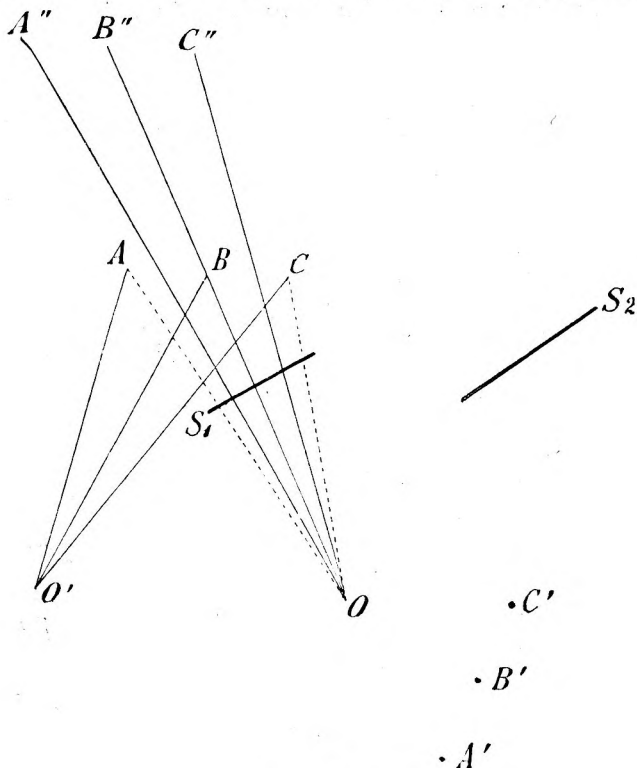


Fig. 11.

die es einnehmen müßte, um  $B$  zu fixieren. Aus der Zeichnung ist bereits ersichtlich, daß beide Gesichtswinkel verkleinert werden, der auf der äußeren Netzhaut aber mehr, als der auf der inneren. Erstlich müssen also die Punkte (oder Fäden) in einer Fläche erscheinen, die links weiter entfernt ist als rechts, und weiter muß der Mittelfaden vortreten, was durch den Versuch (mittels Prismen oder Spiegel) bestätigt wird. Hier war also ein Tiefeneffekt gegeben, ohne daß die Konvergenz irgend welche Änderung erlitt.

Fig. 12 zeigt eine Versuchsanordnung, bei welcher der Gesichtswinkel auf der äußeren Netzhaut des rechten Auges durch Anwendung zweier reflektierender Flächen relativ größer wird. Nach den früheren Erörterungen wird man sofort erwarten, daß die Fläche, in der die binokular gesehenen Objekte erscheinen, gegen den Beschauer konkav sein wird. Dies ist in der That der Fall, obwohl hierbei die Gesichtslinien weniger konvergieren (relativ divergieren), als wenn die Punkte  $A$ ,  $B$  und  $C$  direkt gesehen würden.

(Die Spiegel stehen bei diesem Versuche parallel. Verwendet man, wie HELMHOLTZ, zwei rechtwinkelige Prismen, so muß man sie so orientieren, daß zwei Kathetenflächen einander berühren, oder wenigstens parallel stehen, daß also  $\alpha$  in Fig. 7 = 0 ist.)

Wir dürfen also, das Gesagte zusammenfassend, behaupten, daß bei dem HELMHOLTZschen Versuch mit der Prismenkombination sich die Lokalisation in Bezug auf die Kernfläche nicht deshalb ändert, weil die

Konvergenz geändert wird, sondern deshalb, weil sich das Netzhautbild des einen Auges ändert, und daß die Änderung in der binokularen Tiefenlokalisierung aus jener einseitigen Änderung des Netzhautbildes gerade unter Voraussetzung stabiler Raumwerte deduciert und daher vorausgesagt werden kann.

Hiermit aber scheint das letzte Argument widerlegt, welches die Abhängigkeit der disparativen Tiefenlokalisierung von der Konvergenz und damit von der scheinbaren Entfernung des fixierten Punktes darzuthun suchte.

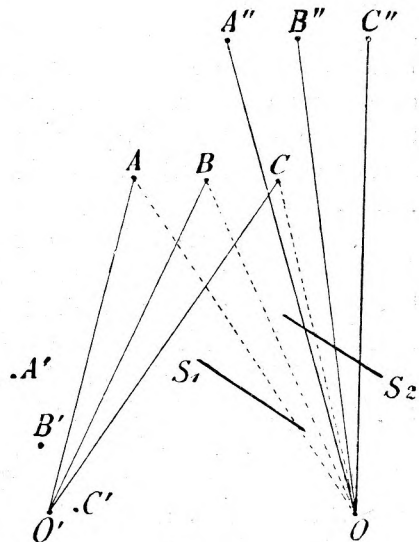


Fig. 12.

## V. Theoretische Konsequenzen.

§ 37. Wenn also ein Sehpunkt vor, in oder hinter der Kernfläche liegt, so ist diese seine Lokalisation (relativ zur Kernfläche), bei Ausschluss aller Erfahrungsmotive nur bedingt durch die Besonderheit der beiden Netzhautpunkte, auf welche die optischen Bilder des betreffenden Außenpunktes zu liegen kommen, mit anderen Worten: die Lokalisation eines Punktes relativ zur Kernfläche muß als physiologische Funktion eines bestimmten Netzhautstellenpaares aufgefasst werden. In diesem Sinne können wir einem bestimmten Netzhautstellenpaare einen Raumwert zuschreiben und behaupten, daß dieser Raumwert ein stabiler sei, d. h. daß er diesem Netzhautstellenpaare ein für alle Male zukomme — unabhängig von dem (durch welche Ursachen immer veranlaßten) Wechsel in der Lokalisation der Kernfläche selbst.<sup>1</sup>

Bei der Untersuchung der weiteren Frage, wie ein Netzhautstellenpaar gelegen sein muß, damit ihm der stabile Tiefenwert 0 zukomme, d. h. damit sich der entsprechende Sehpunkt in der Kernfläche befinde, hat sich gezeigt, daß die beiden Richtungslinien des betreffenden Außenpunktes mit den zugehörigen Gesichtslinien nicht gleiche Winkel einschließen dürfen, sondern daß der Winkel auf der inneren (nasalen) Netzhauthälfte größer sein muß, als der auf der äußeren (temporalen), mit anderen Worten: daß die Breitenwerte auf der äußeren Netzhaut rascher wachsen, als auf der inneren.

Dieser letztere wichtige Satz, den bereits HERING<sup>2</sup> angenommen hatte, geht unter Voraussetzung stabiler Raumwerte mit Notwendigkeit aus der Thatsache hervor, daß der Längshoropter bei starker Konvergenz eine konkave, bei schwacher eine konvexe, und nur bei gewissen mittleren Konvergenzen eine ebene Fläche ist.

<sup>1</sup> Diese Sätze erleiden eine Einschränkung nur in Bezug auf höhend-disparate Punkte. Denn da, wie wir gesehen haben (vgl. pag. 25 ff.), die Höhenddisparation überhaupt keinen Einfluss auf die Tiefenlokalisation hat, so kann auch ein bloß die Höhenddisparation betreffender Wechsel keinen Wechsel im Tiefenwert zur Folge haben.

<sup>2</sup> HERING, „Die Gesetze der binokularen Tiefenwahrnehmung“ im *Arch. f. Anat. u. Physiol.* 1865, pag. 161, ebenso in *Hermanns Handb. d. Physiol.* III. 1, pag. 401 f.

§ 38. Die Annahme, daß die Breitenwerte auf der äußeren und inneren Netzhaut nach (in der oben beschriebenen Weise) verschiedenen Gesetzen zunehmen, erhält — worauf ebenfalls HERING hingewiesen hat — eine weitere Bestätigung durch eine Beobachtung KUNDTs.

KUNDT hat gefunden, daß, wenn man eine Strecke monokular zu halbieren sucht, hierbei ein konstanter Fehler in dem Sinne begangen wird, daß der auf der inneren Netzhaut sich abbildende Teil der Strecke zu groß ausfällt.<sup>1</sup> Ich habe diese Beobachtung KUNDTs mittels einer ähnlichen Versuchsanordnung nachgeprüft und für mich und einen anderen Beobachter bestätigt gefunden.

Diese Thatsache findet ihre Erklärung durch die oben gemachte Annahme, daß die Breitenwerte auf der äußeren Netzhaut rascher wachsen, als auf der inneren, d. h. daß zur Erzielung gleicher scheinbarer Breitenabstände auf der äußeren Netzhaut ein kleinerer Gesichtswinkel erforderlich ist, als auf der inneren.<sup>2</sup>

§ 39. Zum Schlusse mögen die Resultate einer Anzahl von messenden Versuchen mitgeteilt werden. Zuvor sei aber noch ein Wort über die individuellen Verschiedenheiten der Raumwerte gesagt.

<sup>1</sup> *Pogg. Ann.* 1863, pag. 134 f.

<sup>2</sup> Die Differenzen der Gesichtswinkel, die ich bei diesen Beobachtungen gefunden habe, sind von derselben Größenordnung (6 bis 20 Winkelminuten), wie die Differenzen, die sich bei der Bestimmung des Längshoropters mittels des Spiegelhaploskopes herausgestellt hatten (vgl. auch die Tabelle). Eine genaue Übereinstimmung ist natürlich nicht zu erzielen, da bei der monokularen Streckenteilung zu viele Schätzungsfehler unterlaufen, und außerdem Gewohnheiten und sonstige psychische Einflüsse die Resultate, wie sie sich aus der bloßen physiologischen Verschiedenheit der Breitenwerte ergeben müßten, undeutlich zu machen und zu modifizieren geeignet sind.

Vielleicht sind auf solche Fehlerquellen die gegenteiligen Angaben FISCHERS („Größenschätzungen im Gesichtsfeld“ in *Gräfes Archiv f. Ophthalm.* 37. Bd., 1. Abtl., pag. 109) zurückzuführen, der bei monokularen Streckenteilungen stets den äußeren Gesichtswinkel zu groß fand. Immerhin läßt sich — was FISCHERS Augen anlangt — auch an eine von der Norm abweichende Anordnung der Raumwerte denken, was sich dann in einer abweichenden Gestalt seines Längshoropters äußern müßte. Individuelle Verschiedenheiten in der Gestalt des Längshoropters bestehen ja jedenfalls. (Vgl. u. pag. 56 f.)

Wenn die Lokalisation in die Kernfläche von den fixen Raumwerten der Netzhauptpunkte abhängt bezw. von dem Gesetze, nach welchem diese Raumwerte mit dem Abstände von der Längsmittellinie auf der äusseren und inneren Netzhaut wachsen, so ist eine absolute Gleichheit der Raumwerte bei verschiedenen Individuen, ja bei den beiden Augen eines und desselben Individuums schon von vornherein nicht wahrscheinlich. Dies wird auch durch die Erfahrung bestätigt. Schon HELMHOLTZ teilt mit, dass von seinen drei Mitbeobachtern sich jeder in einer anderen Entfernung vor den vertikalen Fäden aufstellen musste, um sie in einer Ebene liegend zu sehen. Dies begreift sich leicht. Wenn die gleichen Breitenwerten entsprechenden Winkel auf der äusseren und inneren Netzhaut beim Beobachter *A* weniger voneinander verschieden sind, als beim Beobachter *B*, so wird *A* sich weiter von den Fäden entfernen müssen, als *B*. Wie man sieht, wäre der Grenzfall die völlige Gleichheit der gleichen Breitenwerten entsprechenden Winkel innen und aussen; in dem Falle würden Objekte, um in der Kernfläche gesehen zu werden, im MÜLLERSchen Horopterkreise liegen und also immer konkav sein müssen; d. h. die Entfernung, in der das ebene Fadensystem eben erschiene, wäre theoretisch unendlich gross.

Aber nicht nur zwischen verschiedenen Beobachtern, auch zwischen den beiden Augen desselben Beobachters kommen derartige Unterschiede vor. Schon in der Halbierung von monokular gesehenen Strecken kommt dies zum Ausdruck. Bei mir z. B. ist die Differenz der beiden Gesichtswinkel im linken Auge gröfser als im rechten; bei einem anderen Beobachter (Hrn. Dr. M. SACHS, Assistenten am hiesigen physiologischen Institute) habe ich die Differenz im rechten Auge stärker gefunden; bei KUNDT sind die Differenzen für beide Augen ungefähr gleich. Wie zu erwarten, äufsert sich eine derartige Verschiedenheit zwischen den beiden Augen eines Beobachters auch in der binokularen Lokalisation, und zwar in der Weise, dass eine Reihe von Objekten, um in der Kernfläche zu erscheinen, nicht symmetrisch zur Medianebene liegen darf, sondern dass die Objekte auf der einen Seite der Medianebene dem Beobachter näher liegen müssen, als die auf der anderen Seite.

Ich habe, um dies zu prüfen, mit den drei direkt gesehenen

Vertikalfäden außer der in § 14 erwähnten eine zweite Versuchsreihe gemacht, wobei ich nicht (wie bei der ersten) die Seitenfäden symmetrisch orientierte und den Mittelfaden in die Ebene zu stellen suchte, sondern den Mittelfaden fixierte und nun versuchte, die Seitenfäden so zu stellen, daß das System in einer zur Frontalebene parallelen Ebene erschien. Die Fäden standen dann erstens nicht in einer Ebene, sondern in einer krummen Fläche (wovon früher die Rede war), zweitens aber lag diese krumme Fläche nicht symmetrisch zur Medianebene, sondern war mir mit ihrer linken Seite jedesmal näher, als mit der rechten.

Analoge Unterschiede zeigten auch die pag. 38 ff. erwähnten Versuche am Spiegelhaploskop. Waren die auf den inneren Netzhauthälften sich abbildenden Fäden gleich weit von den bezüglichen Mittelfäden eingestellt, und suchte ich nun die auf den äußeren Netzhäuten sich abbildenden Fäden so zu stellen, daß das ganze binokular gesehene System in einer zur Frontalebene parallelen Ebene erschien, so mußten die letzteren Fäden nicht nur von ihren bezüglichen Mittelfäden weniger weit abstehen, als die auf den inneren Netzhäuten sich abbildenden, sondern es mußte auch die Entfernungsdifferenz für das linke Auge stets größer sein, als die für das rechte, eine Verschiedenheit der beiden Augen, wie sie sich im selben Sinne bei der monokularen Streckenhalbierung geltend gemacht hatte. (Eine unten mitzuteilende Tabelle wird ein beiläufiges Bild von der Verschiedenheit meiner Augen in Bezug auf die Raumwerte geben.)

## **VI. Rückblick.**

§ 40. Fassen wir den Inhalt der vorstehenden Abhandlung kurz zusammen, so dürfen wir folgendes behaupten:

1. Die Tiefenlokalisation des binokular fixierten Punktes und damit der Kernfläche ist durch den Reiz (bezw. durch das Netzhautbild) nicht bestimmt, sondern von der Konvergenz und von einer Reihe variabler empirischer Motive abhängig.

2. Die Lokalisation aller anderen binokular einfach gesehenen Punkte in Bezug auf die Kernfläche hängt von der Disparation der Netzhautbilder ab und ist mithin bereits ein Moment der primitiven Empfindung (vgl. oben pag. 6 f.). Erfahrungsmomente bringen nicht erst die Tiefenbestimmtheit



hinzu, wohl aber können sie den bereits in der primitiven Empfindung gelegenen Tiefenwert modifizieren.

3. Die Lokalisation in Bezug auf die Kernfläche hängt nur von der Querdissipation, nicht von der Höhendissipation ab.

4. Wenn zwei Punkte der beiden Netzhäute einander so zugehören, daß das entsprechende einfache Sehobjekt in der Kernfläche liegt (den Tiefenwert 0 hat), so ist dies, soweit es sich um die Lokalisation der primitiven Empfindung handelt, immer und unter allen Umständen der Fall, gleichgültig, ob und wie sich die Lokalisation der Kernfläche selbst ändert. Der Raumwert, welcher einem solchen Paare von Netzhautpunkten zukommt, ist also in diesem Sinne stabil.

5. Die beiden Netzhautbilder, welche einem in die Kernfläche lokalisierten Objekte entsprechen, sind immer so gelegen, daß die Richtungslinie des auf der inneren Netzhaut gelegenen Bildpunktes mit der dazugehörigen Gesichtslinie einen größeren Winkel einschließt, als die Richtungslinie des auf der äußeren Netzhaut gelegenen Bildpunktes mit der ihr zugehörigen Gesichtslinie, wobei die Differenz dieser Winkel individuell verschieden ist.

6. Die angeführten Gesetze, denen die Lokalisation in Bezug auf die Kernfläche unterliegt, haben zur Folge, daß die binokular einfach gesehenen Objekte nicht im Durchschnittspunkt ihrer Richtungslinien gesehen werden; mit anderen Worten, daß der Ort der Sehobjekte im allgemeinen nicht übereinstimmt mit dem Ort der entsprechenden wirklichen Objekte. Diese Täuschung ist keine Täuschung über den Empfindungsinhalt, sondern nur über Form und Lage des wirklichen Objektes.

---

### Anhang.

§ 41. Um dem Leser wenigstens an einem Beispiele ein Bild von dem Grade der Verschiedenheit der Winkel zu geben, welche jede der beiden Richtungslinien eines in der Kernfläche gesehenen Punktes mit der bezüglichen Gesichtslinie einschließen, füge ich eine Tabelle über die entsprechenden Werte bei, wie ich sie aus Versuchen mit dem pag. 38 beschriebenen Spiegelhaploskope für meine Augen ermittelt habe.

Mit Fig. 6 pag. 40 verglichen, giebt die 2. Kolumne die Distanz  $BC (= B' C')$  an; die 3. und 4. Kolumne die Distanzen  $AC$  resp.  $A' C'$ ; die 5. Kolumne den Winkel  $\alpha (= \alpha')$ ; die 6. und 7. Kolumne die Winkel  $\beta$  resp.  $\beta'$ . In der 8. Kolumne ist das Intervall angegeben, innerhalb dessen die Konvergenz geändert wurde, wobei die drei gesehenen Fäden (wie früher erwähnt) immer in einer zur Frontalebene parallelen Ebene lagen. Die Einstellung wurde an einem zwischen den zwei Extremen der Konvergenz gelegenen Punkte gemacht und dann die Konvergenz nach beiden Seiten geändert (vergl. pag. 41 f.). Die Vergleichung der 3. und 4. Kolumne, und ebenso der 6. und 7. giebt ein Bild von der pag. 56 f. erwähnten Verschiedenheit meiner Augen. Der Vergleich der 3. und 4. Kolumne mit der 2., und ebenso der 6. und 7. mit der 5. zeigt die Verschiedenheit der Breitenwerte auf der äußeren und inneren Netzhaut.

---

Zum Schlusse sei es mir gestattet, Herrn Prof. HERING für die vielfache Unterstützung, die er mir bei Ausführung der vorstehenden Arbeit hat zu teil werden lassen, meinen wärmsten Dank auszusprechen.

---

**Tabelle.** (Zu § 29. II.)

	Entfernung der Mittelfäden von den beziagl. Drehpunkten.	Entfernung der auf den inneren Netzhautflächen abgebildeten Fäden von den Mittelfäden	Entfernung der auf den äußeren Netzhautflächen abgebildeten Fäden von den Mittelfäden, und zwar		Größe jedes der beiden inneren Gesichtswinkel	Größe der äußeren Gesichtswinkel, und zwar		Grenzen, innerhalb deren die Konvergenz geändert wurde
			für das linke Auge	für das rechte Auge		für das linke Auge	für das rechte Auge	
I.	350	10	9,8	9,9	1° 30' 12"	1° 28' 24"	1° 29' 18"	— 8° bis + 17°
II.	210	15	14,55	14,8	3° 33' 41"	3° 27' 18"	3° 30' 51"	— 4° „ + 20°
III.	280	20	19,4	19,8	3° 40' 46"	3° 34' 10"	3° 38' 34"	— 6° „ + 18°
IV.	350	25	24,2	24,75	3° 45' 15"	3° 38' 4"	3° 43' 0"	— 8° „ + 16°
V.	420	30	29,25	29,6	3° 48' 20"	3° 42' 39"	3° 45' 18"	— 9° „ + 12°
VI.	330	25	24,6	24,75	3° 57' 41"	3° 53' 54"	3° 55' 19"	— 7° „ + 20°
VII.	220	30	28,7	29,4	6° 48' 57"	6° 31' 23"	6° 40' 50"	— 4° „ + 20°
VIII.	160	25	23,9	24,6	7° 27' 25"	7° 7' 57"	7° 20' 20"	0° „ + 28°
IX.	130	25	23,4	24,4	8° 49' 35"	8° 16' 10"	8° 37' 4"	+ 11° „ + 35°
X.	100	25	23,1	24,1	10° 48' 15"	10° 0' 2"	10° 25' 27"	+ 6° „ + 38°

Die Längennalße sind durchweg in Millimetern angegeben.