Die Lage der Doppelbilder beim binokularen Sehen

Autor(en): **Martini, F. von**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Mitteilungen der Thurgauischen Naturforschenden Gesellschaft**

Band (Jahr): **8 (1888)**

PDF erstellt am: **28.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-593859

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Die Lage der Doppelbilder

beim binokularen Sehen

von

Fr. von Martini.

Mit 17 Figuren auf den Tafeln I und II.

(Nach einem Vortrag in dem naturwissenschaftlichen Kränzchen in Frauenfeld am 1. Februar 1888.)

In den grossen physiologisch optischen Werken wird mit Recht den Doppelbildern beim binokularen Sehen eine ausführliche Behandlung zu teil, denn dieselben spielen bei unseren Gesichtswahrnehmungen, namentlich beim Plastischsehen, eine grosse Rolle.

Es wird also viel über die Lage der Doppelbilder gesprochen und die Wichtigkeit dieser Lage bei verschiedenen Erscheinungen hervorgehoben, aber nirgends der Versuch gemacht, dieselbe genauer zu bestimmen; denn dasjenige, was in dieser Richtung geleistet wird, verdient kaum die Bezeichnung eines Versuches. Dieses eigentümliche Verhältnis tritt um so auffallender hervor, wenn man noch findet, dass die Frage über die Lage der Doppelbilder, in einem gewissen Falle, zu einem Hauptstreitpunkte zwischen Helmholtz (Physiologische Optik) und Hering wird, wobei bloss mit Ansichten und Behauptungen, statt mit konstruktiven Beweisen argumentirt werden kann.

1074/1
12653/4

In einem neuen Werke von Le Conte (Band 52 der internationalen wissenschaftlichen Bibliothek) wird jedoch ein ernstlicher Anlauf genommen, die Lage der Doppelbilder zu konstruiren, aber sicherlich nicht mit glücklichem Erfolge, wie wir später sehen werden.

Dieses Werk gab den Anlass zu der nachfolgenden kleinen Untersuchung, die ihr Gebiet jedoch auch nur auf die sog. Primärebene — wie es gewöhnlich geschieht — beschränkt wissen will, d. i. auf diejenige Ebene, welche bei aufrechter Kopfstellung ungefähr horizontal durch die Mittelpunkte beider Augen gelegt werden kann und welche zugleich die Ebene des deutlichen Sehens ist.

Es wird also im folgenden die Aufgabe allgemein zu lösen versucht, *die Lage der Doppelbilder in der Primärebene konstruktiv zu bestimmen*, obwohl ein Vorgehen in dieser Richtung von manchen Physiologen für ein unmögliches oder doch wertloses, ja beinahe lächerliches Unternehmen angesehen wird.

Es muss hier jedoch noch bemerkt werden, dass die eventuell von Einfluss sein könnenden Erscheinungen, die durch Accommodation, Astigmatismus, den Wettstreit der Sehfelder, die Raddrehungen der Augen, die Nachbilder etc. hervorgerufen werden, aus dem engen Rahmen unserer Untersuchung ausgeschlossen bleiben müssen.

I. Die Doppelbilder.

Obwohl wir zwei Augen haben und daher alle Gegenstände doppelt gesehen werden, so erhalten wir doch beim gewöhnlichen, normalen Gebrauche der Augen nur den Eindruck des Einfachsehens, ja es weiss vielleicht die Mehrzahl der Sehenden überhaupt nichts von den sogenannten Doppelbildern. Diese Doppelbilder sind jedoch immer vorhanden und sehr leicht zu konstatiren, sobald wir unsere Aufmerksamkeit darauf lenken. Man darf bloss einen entfernteren Gegenstand fixiren und sich näher einen Finger vertikal vorhalten, so wird dieser in zwei getrennt liegenden Bildern gesehen, wir sehen zwei Finger; und umgekehrt, wenn wir auf den nahen Finger blicken, so erscheint dieser einfach, der entfernter liegende Gegenstand aber doppelt, also auch in zwei

getrennt liegenden Doppelbildern. Schliessen wir nun im letztern Falle z. B. das linke Auge, so verschwindet das links liegende Doppelbild, und umgekehrt verschwindet das rechts liegende Doppelbild, wenn wir das rechte Auge schliessen. Da nun natürlich das dem geschlossenen Auge zugehörige Bild verschwinden muss, so liegen in diesem Falle die Bilder gleichseitig oder gleichnamig oder homonym.

Gerade das Entgegengesetzte findet jedoch statt, wenn wir den entfernteren Gegenstand fixiren, welcher dann einfach erscheint. Schliessen wir jetzt z. B. das linke Auge, so verschwindet das rechts gelegene Doppelbild, und das Umgekehrte findet statt beim Schliessen des rechten Auges; es liegen also in diesem Falle die Doppelbilder ungleichseitig oder ungleichnamig oder heteronym, oder auch, wie man sagt, gekreuzt.

In älteren physiologisch optischen Werken heisst es zur Erklärung dieser Tatsachen einfach: Wenn die beiden Augen r und λ (Fig. 1, Taf. I) auf den Blickpunkt f eingestellt sind, so erscheinen die Doppelbilder des entfernter gelegenen Punktes A in a und α, die des näher liegenden Punktes B in b und β; — a und b sind die Doppelbilder des rechten, α und β diejenigen des linken Auges.

Neuere Physiologen machen nun speziell darauf aufmerksam, dass es nicht richtig sei, dass die Doppelbilder in der gleichen Entfernung wie der fixirte Punkt f liegen, sondern dass sie *nahehin* in der richtigen Entfernung des Objektes erscheinen. Eine andere Unrichtigkeit jener Erklärung besteht ferner noch darin, dass die Doppelbilder des Punktes B, also b und β bedeutend weiter auseinander zu liegen kommen als die Bilder a und α. Man ersieht aus der Konstruktion auch klar, dass die Bilder des Punktes A, wenn sich derselbe auch unendlich weit entfernen würde, nie die Distanz b und β erreichen können. Tatsächlich findet jedoch das Gegenteil statt, indem gerade die Doppelbilder der entfernter gelegenen Objekte bedeutend weiter auseinander gelegen erscheinen können, als es für die Bilder näher als der Blickpunkt gelegener Objekte möglich ist.

Diese letztere Tatsache wird jedoch auch von neuern Physiologen nicht berücksichtiget und ihre Konstruktion der Lage der Doppelbilder ist womöglich noch primitiver als die

eben erwähnte. Da heisst es z. B. nur: Sind unsere beiden Blicklinien auf den Punkt *f* eingestellt, und befindet sich in dem entfernteren Punkte *A* ein Objekt, so sieht man in *a* und α Doppelbilder des Punktes *A* (Fig. 2, Taf. I). Davon gehört *a* dem rechten, α dem linken Auge an. Liegt der Objektpunkt näher als der Blickpunkt *f*, so ist die Lage der Doppelbilder umgekehrt, also gekreuzt. (Wundt, physiologische Psychologie pag. 589 sind diese Lagen auch noch falsch angegeben.)

Es werden nun hier bloss die Fakta konstatirt, ohne dass es uns möglich ist, die Notwendigkeit dieser Erscheinungen zu begreifen, denn die meist beliebten, rein psychischen Erklärungen als optische Täuschungen, Fehler des Augenmasses, Innervationen der Augenbewegungs-Muskeln, unbewusste Urteile, Schlüsse und Verstandesoperationen etc., vermögen unsere Erkenntnis durchaus nicht zu fördern. Wir werden später auf diesen Punkt zurückzukommen haben, und auch am Schlusse unserer Untersuchung die Konstruktion Le Conte's besprechen, weil erst dann sofort die Unrichtigkeit derselben erkannt werden kann, wenn wir unsere Untersuchung durchgeführt haben.

Aus dem höchst einfachen Experiment mit vorgehaltenen Fingern lässt sich nun eine grosse Reihe von Tatsachen beobachten; die für unseren Zweck wichtigsten wollen wir notiren und bei Gelegenheit darauf zurückkommen:

1. Wir sind ohne besondere Untersuchung durchaus nicht im stande, die Bilder des rechten und des linken Auges zu unterscheiden.
2. Die Doppelbilder von Objekten, die näher als der Blickpunkt liegen, sind ungleichnamig, die weiterliegenden sind gleichnamig.
3. Die Doppelbilder liegen annähernd in der Entfernung der Objektpunkte.
4. Der anfixirte Punkt erscheint einfach, und sowohl bei binokularem als abwechselnd monokularem Sehen immer an der selben Stelle. Er wird also an seinem wirklichen Orte gesehen.
5. Alle Objekte, die in Doppelbildern erscheinen, müssen notwendig falsch liegend gesehen werden.

6. Man bemerkt oft, namentlich wenn die Doppelbilder auf einen hellen Hintergrund propjizirt sind, dass dieselben kein körperliches, sondern ein durchsichtiges, schemenhaftes Wesen zu haben scheinen.
7. Diese geisterhafte Erscheinung verschwindet, wenn man ein Auge schliesst, das restirende Doppelbild ist dann immer körperhaft undurchsichtig.
8. Man bemerkt auch beim Schliessen eines Auges eine Verdunklung des gesamten Gesichtsfeldes, welches sich beim Oeffnen des Auges wieder aufhellt.

Um zum Verständnisse dieser Erscheinungen zu gelangen, denen wir noch ganz ratlos und unvermittelt gegenüberstehen, ist es nötig, dass wir zunächst unseren Sehapparat, das Auge, etwas näher betrachten.

II. Das Auge in optischer Beziehung.

Das Auge ist bekanntlich seiner äusseren Form nach ein näherungsweise aus zwei Kugelabschnitten zusammengesetzter Körper, von einer knorpeligen zirka 1 mm dicken weissen undurchsichtigen Schale (sclerotica) gebildet, welche jedoch an der Stelle der Pupille (cornea) durchsichtig ist, um den Lichtstrahlen den Eintritt zu gestatten. Im Innern befindet sich, zirka 4 mm vom Scheitel der Cornea entfernt, die sog. Kristalllinse, welche eine Dicke von schwach 4 mm besitzt (Fig. 3, Taf. I). Die Kristalllinse ist vorn von der Iris bedeckt, welche die Pupille bildet. Die Iris erweist sich als Fortsetzung eines Ringmuskels (ciliaris), welcher sich einerseits an die innere Augenhöhlung anheftet, anderseits mit der Kapsel ringförmig verbunden ist, in welcher die Kristalllinse eingeschlossen sich befindet. Der Ciliaris besorgt die Formveränderung der Linse zum Zwecke der Accommodation des Auges für Objekte von verschiedener Entfernung, die Iris Erweiterung und Verengerung der Pupille. Das Innere des Auges wird dadurch in zwei Kammern geteilt; die vordere ist von der sog. wässerigen Feuchtigkeit, die hintere von dem sog. Glaskörper ausgefüllt. Das Innere der grossen Höhlung ist mit verschiedenen Membranen ausgekleidet, worunter eine dunkle Pigmentschicht, und schliesslich mit der Retina, der lichtempfindenden Nervenhaut, aus den

percipirenden Endorganen des Sehnerven gebildet. Die ungemein zahlreichen und feinen Nervenendigungen, denen die direkte Lichtempfindung zugeschrieben werden kann, wie den Gefühlsnerven an der Oberfläche der Haut, bestehen aus Stäbchen und zapfenförmigen Gebilden, welche mosaikartig über die innere Kugelfläche verteilt sind. Die eigentlichen physiologischen Funktionen dieser Gebilde sind noch nicht aufgeklärt, nur so viel ist sicher, dass an einer ganz kleinen Stelle des Auges, zirka $^1/_2$ Grad im Diameter, die der Pupille gegenüber liegt, eine kleine Grube (fovea centralis), der gelbe Fleck genannt, sich befindet, wo das deutlichste Sehen stattfindet, und dass an dieser Stelle sich nur Zapfen und keine Stäbchen befinden. Vom gelben Fleck aus nimmt nach und nach die Zahl der Zapfen ab und treten dafür Stäbchen auf, und im selben Verhältnis ungefähr nimmt auch, mit der grösseren Entfernung vom gelben Fleck, die Deutlichkeit des Sehens und zwar sehr rasch ab, so dass wir z. B. 4 bis 5 Grad vom gelben Fleck entfernt nicht mehr im Stande sind zu lesen. Die Gegenstände, deren Bilder in den gelben Fleck fallen, nennt man anfixirt oder direkt gesehen; die Bilder, die ausserhalb desselben fallen, heissen indirekt gesehen.

Auf der Symmetrieaxe $A\ x$ (Fig. 3) des Auges befindet sich, im Mittelpunkte der grossen Kugel, der Drehpunkt o des Auges, welches durch 3 Muskelpaare nach allen Richtungen, wie in einem Kugelgelenk, bewegt werden kann. Die Augenaxe trifft, nach Wundt, fast genau auf die Mitte der Eintrittsstelle des Sehnerven N (nervus opticus), woselbst sich keine lichtempfindenden Nervenfasern befinden und also Blindheit herrscht. Dieser sog. blinde Fleck, auf den wir zurückzukommen haben werden, hat zirka 6 Grad im Durchmesser und würde zirka 100 Vollmonde bedecken können, während der gelbe Fleck ungefähr dem Durchmesser eines Vollmondes entspricht. Es ist oft die Frage aufgeworfen worden, warum man denn die grosse Lücke unseres Sehfeldes, die der blinde Fleck bildet, nicht als schwarze Stelle empfindet. Darauf genügt die kurze Antwort, dass wir eben im blinden Flecke keine lichtempfindenden Nerven besitzen und deshalb dort überhaupt *nichts* gesehen wird, also auch nicht der Eindruck des Lichtmangels, eines *schwarzen* Fleckes, empfunden werden

kann, wie wir dies ja auch von keinem andern Teile unseres Körpers verlangen können, an dem sich keine optischen Nerven befinden.

In physikalisch optischer Beziehung ist das Auge vollständig identisch mit der allgemein bekannten photographischen Camera obscura. Die den Namen gebende schwarze Kammer entspricht der dunklen Pigmentschicht, womit die innere Augenhöhlung ausgekleidet ist. Es entsprechen einander ferner: die verschiedenen lichtbrechenden Medien des Auges samt Kristalllinse und das Linsensystem der Camera, Einstellschraube und Ciliaris, Blendungen und Iris, Lider und Lichtabschlussdeckel, Retina und lichtempfindende photographische Platte; auch bewirken in beiden Apparaten die auftreffenden Lichtstrahlen zunächst chemische Reaktionen, was durch die Entdeckung des Sehpurpurs, durch die Erscheinungen der Nachbilder, der Dauer des Lichteindruckes etc., wenigstens als höchst wahrscheinlich anzunehmen ist.

Schliesslich kann man noch den Mittelpunkt der photographischen Platte, wo die schärfsten Bilder entstehen, als dem gelben Flecke korrespondirend betrachten und denselben z. B. durch ein Fadenkreuz festlegen. Wir wären daher in gewissem Sinne berechtigt, bei unserer Untersuchung anstatt des Auges den physikalischen Apparat, die Camera obscura, zu substituiren. Man findet sogar, dass die photographische Camera ein vollkommeneres optisches Instrument ist, als unser Auge, welches nur auf der sehr kleinen Stelle des gelben Fleckes scharfe und deutliche Bilder zur Conception zu bringen vermag.

Nach denselben physikalisch optischen Gesetzen entstehen auch auf der Retina, wie auf der photographischen Platte, kleine verkehrte Bilder der lichtaussendenden Objekte. Die von einem leuchtenden Punkte ausgehenden Strahlen treffen auf die Cornea, werden dort bei dem Eintritt und Fortgang durch die dichteren Medien des Auges abgelenkt, so dass im allgemeinen der Verlauf der Lichtstrahlen vom Objekt zum Bildpunkt auf der Retina keine gerade Linie bildet. Man kann sich jedoch Objektpunkte und Bildpunkte durch gerade Linien verbunden denken, und alle diese Linien schneiden sich in *einem* Punkte, den man den *optischen Knotenpunkt* des Auges nennt; die geraden Linien selbst werden

Richtstrahlen oder Richtungslinien des Sehens genannt und werden wir uns ausschliesslich dieser Linien, die wir für das indirekte Sehen auch Sehlinien nennen können, bedienen, wie dies allgemein bei Untersuchungen, die nicht auf mathematische Genauigkeit Anspruch machen, erlaubt ist. Diejenige Richtungslinie, die durch den optischen Knotenpunkt auf den gelben Fleck trifft, nennt man die Gesichtslinie oder Blicklinie, und der entsprechende Objektpunkt heisst der Blickpunkt oder fixirte Punkt — wir wollen ihn in Zukunft stets mit f bezeichnen. Der Knotenpunkt k liegt in der Augenaxe $A\,x$, 6 mm vor dem Drehpunkte o des Auges und nahe der hinteren Fläche der Kristalllinse, noch innerhalb derselben. Der Mittelpunkt des gelben Fleckes ist vom Mittelpunkt des blinden Fleckes zirka 15 Grad entfernt (Fig. 3, Taf. I ist der Horizontalschnitt durch das rechte Auge) und daher geht unsere Linie des deutlichsten Sehens oder die Blicklinie nicht durch den Drehpunkt des Auges, was jedoch nur bei subtilen Untersuchungen zu berücksichtigen wäre, von uns jedoch vernachlässigt werden darf. Bei der Beurteilung der physikalisch optischen Verhältnisse unseres Auges kommt aber nur der optische Knotenpunkt in Betracht und können wir uns das Auge in demselben konzentrirt vorstellen.

Wir haben nun bekanntlich zwei Augen, welche symmetrisch kongruent gebaut und in der Primärebene symmetrisch gegen die Medianebene des Kopfes gelagert sind. Die Verbindungslinie der Drehpunkte beider Augen $o\,\Omega$ (Fig. 4, Taf. I) heisst Grund- oder Basallinie; diese bleibt natürlich bei den Augenbewegungen konstant (zwischen 60 und 70 mm). Da jedoch die optischen Knotenpunkte r und λ 6 mm vor den Augendrehpunkten liegen, so ist die Entfernung dieser Punkte variabel und zwar im allgemeinen in Richtung und Grösse. Wandert (Fig. 4) der Blickpunkt f nach f^1, so wandern auch die optischen Knotenpunkte r und λ nach r_1 und λ_1, es ist also auch die für uns massgebende Lage der Knotenpunkte variabel, also auch die Augenentfernung in unserem Sinne variabel. Da aber gerade die Lage und Entfernung der optischen Knotenpunkte allein für uns von Bedeutung ist, so wollen wir für die jeweilige Verbindungslinie der Knotenpunkte r und λ die Benennung Distanzlinie einführen

und den Halbirungspunkt dieser jeweiligen Distanzlinie den optischen Distanzpunkt oder kurzweg Distanzpunkt nennen, und denselben mit P bezeichnen. Beim Wandern des Blickpunktes (in Fig. 4) von f nach f_1 wandert also auch der Distanzpunkt P nach P_1.

III. Das Sehen.

Wie unsere verschiedenen Sinneseindrücke überhaupt zur Perception, zum Bewusstsein gelangen, darüber haben wir noch gar keine Erkenntnis, ja über das Wesen des Sensoriums selbst herrscht noch vollständiges Dunkel. Es kann auch hier nicht unsere Absicht sein, unsere Gesichtswahrnehmungen in steter Beziehung zur Psyche zu behandeln, sondern wir müssen uns auf den Standpunkt der beobachtenden Naturwissenschaft stellen und die von ihr gelieferten Tatsachen verwenden, welche nichts anderes sind als die Resultate unserer Sinneswahrnehmungen. Sicher ist es, dass alle unsere Empfindungen auf direkte Einwirkungen, ja Berührungen der Aussenwelt zurückzuführen sind. So wie unser Gehörorgan durch direkte Berührung der Schallwelle mit dem Trommelfell zur Tonempfindung angeregt wird, so wird unsere Retina durch direkte Berührung der Aetherwellen, die der leuchtende Körper aussendet, zur Lichtempfindung veranlasst, und zwar ist es eine wirkliche mechanische Berührung, weil sie eine chemische Veränderung, also eine mechanische Umlagerung von Molekülen bewirkt.

Welche Ansicht man also immer über das transcendentale Wesen des „Dinges an sich“ und daher über die Qualität des Sehens und Gesehenen haben mag, so steht doch so viel fest, dass es zunächst für uns ein *Objekt* sein muss, und von diesem Objekt muss auf der Retina das bewusste kleine verkehrte Bild entstehen und zur Empfindung gelangen, um eine Lichtwahrnehmung hervorzurufen.

Die *nächste* Beobachtung, die wir nun machen, ist die, dass wir nicht die *Bilder* auf der *Retina* empfinden, also nicht die Gegenstände im Auge abgebildet sehen, sondern dieselben in den Richtungslinien des Sehens, nach aussen in den Raum projizirt, wahrnehmen. Wir sehen also nicht die *Bilder* der leuchtenden Objekte *im* Auge (von welchen Bildern

wir überhaupt nie ein Bewusstsein haben), sondern wir sehen die Objekte selbst und zwar in denselben geraden Linien, in welchen sie uns durch ihre Aetherwellen berühren, nach physikalisch optischen Gesetzen; ja selbst die Nachbilder bei geschlossenen Augen sehen wir nach aussen in den Raum projizirt. Diese *physiologische Eigentümlichkeit* unserer Gesichtsempfindung ist jedenfalls angeboren und ist auch der Grund, weshalb wir alle Objekte, trotz den verkehrten Bildern auf der Retina, aufrecht sehen.

Betrachten wir nun monokular, z. B. mit dem rechten Auge, ein aufgeschlagenes Buch auf einer gewissen Stelle mit ruhendem Blick, so beobachten wir sehr leicht, dass wir sofort von der Richtung der Zeilen, der Anordnung des Druckes etc. ein allgemeines Bild erhalten, dass es uns aber nur an der ganz kleinen fixirten Stelle möglich ist, die Form der einzelnen Buchstaben deutlich zu sehen und zu unterscheiden. Wenn wir lesen wollen, müssen wir unsern Blick so der Zeile entlang bewegen, dass die Bilder der einzelnen Buchstaben successive in *den* Punkt des Auges fallen, wo wir am deutlichsten sehen, also in den gelben Fleck. Diese Eigenschaft unseres Auges, dass der gelbe Fleck in so hervorragender Weise für die Lichtempfindungen befähigt ist, ist uns gewiss ebenfalls mit dem Sehorgane angeboren. Wenn wir also etwas deutlich sehen wollen, müssen wir unser Auge so stellen (mit Hülfe der Augenbewegungsmuskeln), dass die Bilder davon in den gelben Fleck fallen. Dieses Fixiren des Objektes muss gelernt werden und durch millionenfache Uebung bringen wir es darin bekanntlich so weit, dass es anscheinend gar keines besonderen Willensaktes bedarf, um den Blick auf einen beliebigen Punkt zu richten.

Genau dieselben Beobachtungen machen wir beim monokularen Sehen mit dem linken Auge allein; unsere beiden Augen sind eben gleich gebaut, und wir erhalten in beiden Augen ganz kongruente Bilder und Lichtempfindungen. Es herrscht nun bei unserem Gesichtsorgane ein analoges Verhältnis, wie bei unserem Gehörorgan. Obwohl wir zwei Ohren haben, so hören wir einen Ton mit beiden Ohren doch nur als einfachen Ton und können auch die Gehörsempfindungen beider Ohren in gewöhnlichen Fällen nicht von einander unterscheiden. Verdecken wir ein Ohr, so wird

jedoch der Toneindruck schwächer. Ganz das Gleiche findet bei unseren Gesichtswahrnehmungen statt, die Empfindung jedes einzelnen Auges wird dem *Gemeinbewusstsein* mitgeteilt, wir haben *kein speziell gesondertes Sensorium* für jedes Auge und daher können wir auch die Bilder des rechten und des linken Auges nicht von einander unterscheiden. Unser binokulares Sehen besteht aber in der gleichzeitigen Perception der Bilder beider Augen, mögen diese Bilder nun gleich oder ungleich sein. Wir haben uns bei Feststellung dieser Tatsachen deshalb etwas länger verweilt, weil sich aus ihnen allein mit logischer Konsequenz die zum Teil sehr unerwarteten und überraschenden Erscheinungen beim binokularen Sehen herleiten und erklären lassen.

Wenn wir mit *beiden* Augen ein Objekt *genau* sehen wollen, so müssen wir natürlich dieselben so stellen, dass die Bilder des Objektes in beiden Augen gleichzeitig auf die gelben Flecke fallen. Dieses binokulare Fixiren muss sicher ebenfalls gelernt werden. Die Deutung des Gesehenen ist Sache der Psyche, aber ganz gewiss bleiben nach wie vor dem Verständnis des Gesehenen die einfachen Lichtempfindungen auf der Retina, die Lage der Bilder daselbst und die Projektionsrichtungen nach aussen dieselben. Ein solches, von beiden Augen gleichzeitig fixirtes Objekt wird nun zweifellos doppelt gesehen, aber an *einem* und *demselben Orte* im Raum, wie man sich leicht durch abwechselndes Schliessen eines Auges überzeugen kann, und wie es nach unseren bisher festgestellten Tatsachen und Beobachtungen nicht anders möglich ist. Es ist auch kein logischer Grund einzusehen, weshalb und wie wir einen Gegenstand am gleichen Orte getrennt doppelt sehen sollten; es erscheint daher ein solcherweise gesehener Gegenstand *einfach*. Das eigentliche Wesen dieses sog. Einfachsehens wird uns später noch klarer werden. Die beiden gelben Flecke sind kongruente und symmetrisch gelegene Punkte in unseren Augen, die sich hauptsächlich durch die Deutlichkeit des Sehens auszeichnen und die man auch als identische Punkte bezeichnet. Von diesen gilt also nach dem Vorhergehenden der Satz, dass Bilder, die auf die identischen Punkte fallen, einfach gesehen erscheinen, oder auch, dass das anfixirte einfach gesehene Objekt seine Bilder auf die identischen Punkte wirft. Dieser

Satz gilt zunächst für die Richtungen des Sehens nach den Hauptrichtungslinien oder für die Blicklinien. Es ist nun abermals kein logischer Grund vorhanden, weshalb sich andere Punkte der Retina, für die das Gesetz der Richtungslinien des Sehens ebenfalls gilt, anders verhalten sollten, als die Blicklinien. Tatsächlich erhalten wir auch von einem grösseren anfixirten, einfach gesehenen Objekte kongruente und kongruent gelegene Bilder auf der Retina beider Augen. Man nennt diese in Beziehung auf die identischen Punkte, kongruent gelegenen Punkte auch korrespondirende Punkte. Man kann die gelben Flecke gleichsam als Nullpunkt eines Polarkoordinatensystems betrachten, und wenn wir in beiden Augen dann von diesem Nullpunkt aus im gleichen Sinne, unter gleichen Winkeln und in der gleichen Entfernung gleiche Punkte auftragen, so erhalten wir kongruente Bilder auf korrespondirenden Punkten. Wenn wir beide Augen dann so in einander geschoben denken, dass sich die identischen Punkte und die Richtungen decken, so müssen sich auch die korrespondirenden Punkte decken. Wir können also den Satz allgemein dahin formuliren, dass Bilder, die auf korrespondirende Punkte fallen, einfach gesehen erscheinen. Es kommt hierbei im allgemeinen auch gar nicht darauf an, ob diese Bildpunkte von einem und demselben Objekte auf die Retina geworfen werden oder von verschiedenen Objekten herrühren, wenn sie nur auf korrespondirende Punkte fallen. Ja selbst ganz ungleiche Bilder auf korrespondirenden Punkten werden wie einfach gesehene kombinirt.

Man kann sich von diesen Erscheinungen ein anschauliches Bild machen und dasselbe auch experimentell zur Anschauung bringen, wenn man zwei gleiche photographische Apparate C und C_1 (Fig. 5, Taf. II) so einstellt, dass die Bilder eines Punktes F auf den matten Glastafeln mit dort angebrachten Fadenkreuzen, welche die gelben Flecke repräsentiren, übereinstimmen. Diese Fadenkreuze samt den Bildpunkten kann man nun durch Planspiegel S und S_1 gleichzeitig auf eine dritte matte Glastafel M so reflektiren, dass dieselben in *einem* Punkte F_1 zusammenfallen. Wir werden dem Bilde F_1 nicht ansehen können, dass es aus den Bildern der Camera C und C_1 gleichzeitig gebildet ist. Schliessen wir durch einen Deckel z. B. die Camera C, so bleibt das

Bild F_1 doch an seiner Stelle und wir werden beim Anblick von aussen auch nicht wissen können, welche Camera ausser Funktion gesetzt ist, denn die Erscheinung bleibt bei Abschluss von C_1 ganz die gleiche, weil wir voraussetzen, dass die Bilder beider Apparate kongruent sind; ja selbst bei verschieden gefärbten Bildern können wir nicht wissen, welcher Camera sie angehören. (Die Platte M mag unser Gemeinbewusstsein repräsentiren und der ganze kombinirte Apparat soll in einer gemeinschaftlichen dunklen Kammer eingeschlossen vorausgesetzt werden.) Aber *einen* Unterschied in der Erscheinung auf der Platte M werden wir recht deutlich bemerken, wenn wir einen Apparat abschliessen, nämlich dass die Helligkeit auf derselben bedeutend abgenommen hat, weil jetzt nur die halbe Lichtquantität in die dunkle gemeinsame Kammer eintritt. Schliessen wir gleichzeitig beide Apparate gegen den Lichtzutritt ab, so bleibt auch die ganze Platte M dunkel. Dieser Fall entspricht genau unserer Empfindung der Finsternis, wenn wir beide Augen schliessen. Auch dieses Gefühl der Finsternis projiziren wir nach aussen. Schliessen wir nur *ein* Auge, so wird dieses dadurch nicht vom Sehakte ausgeschlossen, sondern das daselbst percipirte Gefühl der Finsternis kombinirt sich mit der Lichtempfindung des anderen Auges und muss eine allgemeine Verdunklung unseres Gesichtsfeldes zur Folge haben.

Befindet sich nun in einem Punkte A, der näher als der Blickpunkt F gelegen ist, ein Objekt, welches wir daher nach dem Vorhergegangenen nur indirekt sehen, so werden die Bilder dieses Objektes auf der Tafel M in a und α gesehen werden, also in zwei getrennt liegenden Bildern oder *Doppelbildern* erscheinen und man sieht aus der Zeichnung deutlich, dass das Bild der linken Camera C in α, also rechts liegend, das Bild der Camera C_1, welche rechts liegt, in a, also links liegend erscheint. Diese Erscheinung stimmt genau mit unserer Beobachtung bei dem eingangs erwähnten Fundamental-Experiment überein, wo in diesem Falle die Bilder gekreuzt liegen. Das Entgegengesetzte findet statt bei den Bildern b und β eines Punktes B, der weiter als der Fixationspunkt F liegt; hier liegen die Bilder gleichseitig, wie ein Blick auf die Zeichnung Fig. 5 lehrt. Die Lage des Punktes B ist nun in der Zeichnung derartig angenommen, dass die

Bilder b und β desselben mit den Bildern α und a des Punktes A auf der Platte M zusammenfallen, wie solches in weitaus den meisten Fällen in Wirklichkeit stattfinden wird. Es werden also, da wir ja bekanntlich die Bilder nur in der Projektion nach aussen wahrnehmen, in denselben Richtungen im Raume gleichzeitig zwei verschiedene Objekte ihre Rechte der Perception geltend machen, und dadurch wird eben das verwischte, schemenhafte, geisterhaft durchsichtige Wesen zur Erscheinung kommen, das den getrennt liegenden Doppelbildern eigen ist. Schliessen wir ein Auge, so wird das Doppelbild bloss mit dem Gefühl der Dunkelheit kombinirt, aber der Eindruck der Undurchsichtigkeit, der Körperlichkeit hergestellt, weil nicht zwei distinkt verschiedene Bilder und Formen zu kombiniren sind.

Ueber die Notwendigkeit des Sehens in getrennt liegenden Doppelbildern werden wir uns bald volle Klarheit verschaffen; zunächst müssen wir zu diesem Zwecke die Lage derjenigen Punkte genauer zu bestimmen suchen, die auf korrespondirende Punkte fallen und daher stets einfach gesehen erscheinen.

IV. Der Horopter.

Wenn man in der Primärebene ein Objekt f fixirt (Fig. 6, Taf. I), so bilden die beiden Gesichtslinien und die Distanzlinie ein Dreieck mit den Winkeln λ und r an der Basis und dem Winkel f an der Spitze, wenn wir die Winkel mit den Bezeichnungen der Ecken λ, f und r benennen wollen. Zieht man nun durch die beiden optischen Knotenpunkte λ und r gerade Linien unter gleichen Winkeln α und in gleichem Sinne, z. B. auf der Retina nach links abweichend, so fallen diese Linien auf korrespondirende Punkte. Werden diese Linien nach aussen verlängert, so schneiden sie sich in einem Punkte f_1; führt man die gleiche Konstruktion mit gleichen beliebigen Winkeln β nach rechts aus, so schneiden sich die verlängerten Linien in einem Punkte f_2. Diese Operation kann beliebig oft wiederholt und dadurch eine beliebige Reihe von Punkten bestimmt werden. Diese so gezeichneten Linien können aber auch Richtungslinien des Sehens sein, welche von Objektpunkten f_1 f_2 auf der Retina

auf korrespondirende Punkte fallen, und daher nach dem Vorhergehenden als einfach gesehen erscheinen müssen. Betrachten wir unsere Zeichnung näher, so finden wir, dass in dem neuen Dreiecke $\lambda\ r\ f_1$ der Winkel bei λ um den Winkel α kleiner und gleichzeitig der Winkel bei r um denselben Winkel α grösser geworden ist, als in dem Dreieck $\lambda\ r\ f$. Es bleibt somit die Summe beider Winkel an der Basis dieselbe. Da nun in einem Dreiecke die Summe der drei Winkel stets 180 Grad ist, so folgt daraus, dass die Winkel f und f_1 in beiden Dreiecken gleiche Grösse haben müssen. Ganz das gleiche Raisonnement führt auch für das Dreieck $\lambda\ r\ f_2$ zu dem Resultate, dass der Winkel f_2 gleich f und daher auch gleich f_1 sein muss. Wir erhalten also hier eine beliebige Anzahl von Dreiecken auf der gleichen Basis $\lambda\ r$ mit gleichen Winkeln an der Spitze. Nun kennen wir aus der Geometrie den Satz, dass in einem Kreise die Peripheriewinkel über der gleichen Sehne alle gleich gross sind. Wenn wir daher durch den Fixationspunkt f und die beiden optischen Knotenpunkte λ und r einen Kreis legen, so müssen auch die Punkte $f_1\ f_2$ in der Peripherie dieses Kreises liegen. Dieser Kreis nun, welcher die Lage derjenigen Punkte bestimmt, deren Bilder auf der Retina auf korrespondirende Punkte fallen und welche deshalb einfach gesehen werden, heisst Horopter und ist in unserem Falle, auf die Primärebene bezogen, als der Müllersche Horopterkreis bekannt. Dieser Horopterkreis gilt jedoch nur für die ganz bestimmte Blickstellung $\lambda\ r$ und f und verändert sich, wenn wir den Blickpunkt *auch* in der Peripherie des Kreises wandern lassen, da die optischen Knotenpunkte nicht mit den Drehpunkten der Augen zusammenfallen, der Horopter jedoch stets durch die Lage des Fixationspunktes und der optischen Knotenpunkte allein bestimmt ist.

Der Horopterkreis ist für die Lösung unserer Aufgabe von grosser Wichtigkeit; ja dieselbe ist dadurch schon zur Hälfte gelöst, indem allgemein die Lage *der* Punkte, die einfach gesehen werden müssen, geometrisch festgelegt ist. Es folgt aber daraus mit logischer Konsequenz, dass alle Punkte *in* und *ausserhalb* des Horopters doppelt gesehen werden müssen.

Es ist nun wirklich interessant, dass gerade die Physiologen, die sich mit grossem Scharfsinn um die Bestimmung

des Totalhoropters bemühten (Helmholtz, Physiologische Optik) eine Konstruktion der Lage der Doppelbilder negiren.

Aus unseren bisherigen Untersuchungen folgt auch die Tatsache, dass nur die verhältnismässig beschränkte Anzahl der Punkte, die im Horopter liegt, in richtiger Lage gesehen wird, alle andern in und ausserhalb des Horopters gelegenen Punkte werden daher doppelt, d. h. in falscher Lage gesehen werden und *zwar auch bei monokularem Sehen.*

V. Die Richtung des direkten binokularen Sehens.

Für die Richtung unseres Sehens ist die Lage des Blickpunktes und daher die Richtung der Gesichts- oder Blicklinien von massgebendem Einfluss, denn nach ihr beurteilen wir die Lage anderer Punkte. Der von beiden Augen also gleichzeitig anfixirte Blickpunkt, der Punkt, der am *deutlichsten* gesehen wird, dient als Orientirungspunkt für unsere Begriffe von rechts und links, von oben und unten.

Wir wollen annehmen, unsere beiden Augen r und λ (Fig. 7, Taf. I) seien auf einen beliebigen Punkt f eingestellt, so wird also dieser Punkt f *einfach* gesehen erscheinen und die Linien $f\ r$ und $f\ \lambda$ sind die Richtungslinien des deutlichsten Sehens. Befindet sich nun z. B. auf der Gesichtslinie $r\ f$ des rechten Auges ein Objektpunkt A, so wird das Bild dieses Punktes im rechten Auge ebenfalls, wie das Bild von f, auf den gelben Fleck fallen, und daher in Bezug auf die *Richtung*, in der er gesehen wird, ganz den gleichen Effekt hervorbringen, wie der Punkt f selbst. Der Punkt A wird von dem rechten Auge in den Punkt f projizirt erscheinen, oder, wie wir sagen, A ist auf f einvisirt. Für das linke Auge jedoch würde der Bildpunkt von A nicht in den gelben Fleck fallen, der Punkt A wird also nach dem Vorhergehenden, da er nicht im Horopterkreise selbst liegt, doppelt gesehen werden. Da wir aber vorläufig nur die Richtung des direkten Sehens untersuchen wollen, so können wir durch einen Schirm s (Fig. 7) dafür sorgen, dass der Punkt A bloss vom rechten Auge allein, also einfach gesehen wird. Der Schirm s hält also die Sehlinie $A\ \lambda$ ab, nach λ zu gelangen.

Ganz auf gleiche Weise kann man in der Gesichtslinie λf des linken Auges einen Punkt B auf f einvisiren, der auch für dieses Auge in Bezug auf die *Richtung* ganz die gleiche Lage haben wird, wie der Punkt f selbst. Ein Schirm s_1 sorgt auch hier dafür, dass B bloss von λ aus, also einfach gesehen wird. B wird also für das linke Auge ganz den gleichen Effekt hervorrufen, wie A für das rechte Auge, d. h. sowohl B als A werden wir in denselben Punkt f projizirt wahrnehmen. Wie wir hier A und B, so können wir noch beliebige andere Punkte C und D auf f einvisiren, und alle diese Punkte A B C und D werden also in den Fixationspunkt f projizirt erscheinen. Wenn wir für die Punkte Scheiben von verschiedener Grösse substituiren, so werden wir den Eindruck von Fig. 8 auf Taf. I empfangen.

Also die in der Primärebene ganz verschieden gelegenen Punkte A B C D und f werden von uns in gleicher Richtung gelegen wahrgenommen. Da wir nun bekanntlich die Bilder beider Augen nicht von einander unterscheiden können und von früher wissen, dass wir die Doppelbilder nahezu in ihrer richtigen Entfernung gelegen sehen, so müssen uns sämtliche Punkte in einer und derselben geraden Linie gelegen erscheinen (Fig. 9, Taf. I). Denn nur dann ist es möglich, dass wir Punkte von verschiedener Entfernung auf den gleichen Punkt einvisirt sehen.

Was nun von den obenbetrachteten Punkten gilt, muss notwendig von allen andern Punkten der Gesichtslinien auch gelten, also von den ganzen Gesichtslinien, und daher auch von den *optischen Knotenpunkten* r und λ selbst. Die Richtung unseres direkten binokularen Sehens ist also derart, als wenn wir nur *ein* Auge hätten, das zwischen beiden Augen gelegen wäre, so dass die optischen Knotenpunkte r und λ in den gleichen Punkt und daher auch die Gesichtslinien in eine und dieselbe Linie zusammen zu fallen scheinen. Man kann sich auch experimental sehr leicht von der Tatsächlichkeit dieser Erscheinung überzeugen; wir erinnern nur an das allgemein bekannte Stereoskop, und wir kommen durch unsere Untersuchung nun zu dem gleichen Resultate, das wir in Fig. 5, bei dem Spiegelexperiment, bereits supponirt hatten.

Unser binokulares Sehen besteht also in der gleichzeitigen Perception der Bilder beider Augen, wie sie solche in ihrer

wirklichen Lage empfangen. Die Knotenpunkte beider Augen erscheinen uns aber in einen und denselben Punkt zusammen geschoben und von ***diesem*** *Punkte aus sehen wir die Bilder der Retina in den Richtungslinien des Sehens in den Raum projizirt.*

Wir wollen nun diesen Punkt, in welchem uns beide optischen Knotenpunkte zusammen zu fallen scheinen und dessen Lage noch näher zu bestimmen ist, den Doppelpunkt, und die Verbindungslinie dieses Doppelpunktes mit dem Blickpunkte, also die Linie, in welcher auch die beiden Gesichtslinien zusammenfallen, die Doppellinie nennen. Wir haben also dieses a priori nicht zu erwartende Resultat bloss aus der kongruenten Konstruktion und symmetrischen Lage unserer Augen abgeleitet und für die Lösung unserer Aufgabe damit ein weiteres wichtiges konstruktives Element gewonnen. Es ist nun gewiss höchst auffallend und zeugt von der Schwierigkeit derartiger Beobachtungen, dass dieses uns überraschend berührende Faktum erst vor einigen 20 Jahren von Professor Hering konstatirt worden ist. Wir wollen es daher das Heringsche Phänomen nennen.

Nicht minder bezeichnend ist es aber auch, dass diese Erscheinung von den meisten Physiologen nur vorübergehend, gleichsam als Curiosum behandelt wird und sich kaum ein Versuch findet, dieselbe im Sinne unserer Untersuchung zu verwerten. Wundt sagt z. B. in seiner Physiologischen Psychologie ganz kurz: „Die Richtung, nach welcher wir *irgend einen binokular gesehenen Gegenstand* verlegen, entspricht, wie E. Hering zuerst bemerkt hat, einer Geraden, die von dem *Mittelpunkte der Verbindungslinie beider Drehpunkte* aus nach dem gemeinsamen Blickpunkt gezogen werden kann.“

Dieser Wortlaut der Darstellung des Faktums ist jedoch weit davon entfernt, das ganze Phänomen zu umfassen. Es ist daraus zunächst gar nicht ersichtlich, dass auch die Blicklinien in ihrem ganzen Verlaufe in Doppellinien gesehen werden müssen, sondern es ist nur vom gemeinsamen Blickpunkte die Rede. Auch dass für alle Horopterpunkte, also auch für die indirekt gesehenen, ähnliches gelten muss, ist nicht zu vermuten, denn unter der Bezeichnung *„irgend ein binokular gesehener Gegenstand“* ist hier nur der gemeinsame

Blickpunkt gemeint. Alle Punkte im Gesichtsfelde werden jedoch binokular gesehen — aber weitaus die meisten in Doppelbildern, auf welche die ganze Darstellung keinen Bezug haben kann. Auch dass die Lage des Doppelpunktes in der Mitte der Verbindungslinie *beider Drehpunkte* angenommen werden müsse, werden wir als unrichtig zu bezeichnen finden, denn die Drehpunkte der Augen haben, wie wir wissen, zunächst keine direkte Bedeutung für die Erscheinungen bei unseren Gesichtswahrnehmungen.

Da nun bekanntlich die Lage des direkt gesehenen Blickpunktes massgebend ist für die Beurteilung der Lage der indirekt gesehenen Objekte, so charakterisirt der Distanzpunkt, als Mittelpunkt der Verbindungslinie der optischen Knotenpunkte, die symmetrische Lage unserer Augen zum fixirten Punkte. Da nun aber unsere beiden Augen gleichzeitig so ineinander geschoben uns erscheinen, dass die beiden optischen Knotenpunkte zusammenfallen, und gewiss kein logischer Grund einzusehen ist, weshalb *ein* Auge in Bezug auf den Symmetriepunkt der Lagen eine grössere Verschiebung erleiden sollte als das andere, so müssen die vereinigten Blicklinien als Doppellinie durch den Distanzpunkt gehen. Wir können also unsere bisherigen Resultate in den Satz zusammenfassen: *Beim direkten binokularen Sehen fallen die Gesichtslinien beider Augen in diejenige gerade Linie zusammen, welche Blickpunkt und Distanzpunkt verbindet, und auf dieser Doppellinie muss auch irgendwo das scheinbare Doppelauge oder der Doppelpunkt gelegen sein.*

VI. Die Medianlinien des Sehens.

Wenn wir den Distanzpunkt P mit dem Blickpunkte durch eine gerade Linie verbinden, so wird dieselbe in hervorragender Weise durch die Symmetrie ihrer Lage gegen die Blicklinien ausgezeichnet sein, wir können dieselbe daher auch Medianlinie des Sehens nennen. Für das *direkte* Sehen wird diese Medianlinie nach dem Obigen mit der scheinbaren Doppellinie zusammenfallen und bei gerader Kopfstellung und symmetrischer Konvergenz der Blicklinien auch in der Medianebene des Kopfes und Körpers liegen. Da nun alle Punkte

dieser Medianlinie, den Blickpunkt selbst ausgenommen, ihre Bilder auf verschiedene Netzhauthälften, d. h. auf nicht korrespondirende Punkte werfen, so müssen dieselben doppelt gesehen werden.

Nehmen wir zunächst an, wir hätten eine Augendistanz von 2″ und würden einen unendlich fernen Punkt *f* fixiren, also mit parallelen Blicklinien ins Weite sehen (Fig. 10, Taf. I). Die Medianlinie *P f* wäre also in diesem Falle parallel zu den Blicklinien $r f_1$ und λf_2. Befindet sich nun im Punkte *A* auf der Medianlinie ein Objekt, so wird dasselbe von dem rechten Auge *r* 1″ links liegend gesehen, das linke Auge λ sieht aber *A* 1″ rechts liegen; der Punkt *A* wird also für unser Gesamtsensorium gleichzeitig 1″ rechts- und 1″ linksliegend, also in Doppelbildern gesehen, die 2″ von einander entfernt liegen und welche 2″ genau mit unserer supponirten Augendistanz übereinstimmen. Ganz das gleiche Resultat werden wir von der Lage der Doppelbilder eines anderen Punktes *B* erhalten, der ebenfalls auf der Medianlinie gelegen ist. Da nun aber nach dem vorhergehenden Kapitel unsere beiden Blicklinien in die Doppellinie zusammen zu fallen scheinen, die Doppellinie aber, wie ebenfalls hervorgehoben, hier in die Lage der Medianlinie fällt, so muss von dort aus einmal die Dimension von 1″ rechts und 1″ links aufgetragen werden, um die Lage der Doppelbilder der Medianlinie konstruktiv festzulegen. Das rechte Auge sieht also von dort aus die Lage der Punkte *A* und *B* 1″ links, also genau in der Richtung der Blicklinie des linken Auges; ebenso werden die Bilder des linken Auges genau in die Gesichtslinie des rechten Auges verschoben erscheinen. Was nun von den Punkten *A* und *B* gilt, muss auch für alle anderen Punkte der Medianlinie gelten und daher auch für den Distanzpunkt *P* selbst.

Lassen wir nun den Fixationspunkt *f* aus unendlicher Entfernung in endliche heranrücken, so wird der Punkt *f* Horopterpunkt und daher einfach gesehen, der Distanzpunkt *P* aber nach wie vor in die optischen Knotenpunkte λ und *r* verlegt erscheinen und zwar wieder wie oben ungleichnamig. Die direkte Medianlinie wird also gleichsam mit den *vertauschten Blicklinien* gesehen, d. h. das Bild des rechten Auges der Medianlinie *P f* (Fig. 11, Taf. II) liegt in der Gesichtslinie λ *f*

des linken Auges, und das Bild des linken Auges in der Gesichtslinie $r\,f$ des rechten. Was nun von dem Fixationspunkt f gilt, das muss auch von allen anderen Horopterpunkten gelten; d. h. wenn wir den Distanzpunkt P mit den Punkten f_1 und f_2 verbinden, so sind diese Linien ebenfalls Medianlinien des Sehens, und es müssen dieselben daher ebenfalls, da die Horopterpunkte einfach gesehen bleiben, P aber in die optischen Knotenpunkte gekreuzt verlegt wird, gleichsam mit den vertauschten Sehlinien gesehen werden. Wenn wir also z. B. das rechte Auge und die zugehörigen Doppelbilder rot zeichnen, das linke Auge und zugehörige Bilder blau, so müssen die schwarz gezeichneten Medianlinien $P\,f$, $P\,f_1$ und $P\,f_2$ (Fig. 11, Taf. II) als Doppelbilder vom linken Auge aus rot, vom rechten Auge aus blau gezeichnet werden. Wir haben also hiermit ein weiteres konstruktives Element für unsere Untersuchung gewonnen und es handelt sich nunmehr bloss noch um die Feststellung der Lage des fiktiven kombinirten Doppelauges oder des Doppelpunktes, um allgemein zur Konstruktion der Lage einzelner Punkte in und ausserhalb des Horopters schreiten zu können.

Bevor wir jedoch weiter gehen, wollen wir Figur 11 noch etwas näher betrachten.

1. Es zeigt sich hier sofort klar, dass wie die ganzen Medianlinien, auch nur einzelne Punkte, die auf derselben liegen, stets in Doppelbildern gesehen werden müssen und dass die Entfernung dieser Doppelbilder von einander von der Lage der Objektpunkte auf der Medianlinie abhängig sein muss.

2. Man sieht ferner sofort die Ursache ein, weshalb die Doppelbilder von Punkten, die näher als der Blickpunkt liegen, ungleichnamig, diejenigen, die weiter als der Blickpunkt liegen, gleichnamig sind. Ja man kann den Satz allgemein aussprechen: *Innerhalb des Horopters werden alle Punkte in heteronymen oder gekreuzten Doppelbildern gesehen, ausserhalb des Horopters in homonymen oder gleichseitigen.*

3. Die Figur lässt auch unmittelbar erkennen, weshalb die Doppelbilder von Punkten, die sich weiter als der Blickpunkt befinden, in bedeutend grösserer Entfernung von einander zu liegen kommen können, als solche von Objekten innerhalb des Horopters und dass das Maximum für letztere die Grösse der Distanzlinie ist.

4. Die Figur erklärt auch die Tatsache, dass die Lagen der Doppelbilder und deren Konstruktionen unverändert bleiben, wenn wir den Punkt f_1 oder f_2 oder irgend einen anderen Horopterpunkt als *Blickpunkt annehmen,* dass sich die Lagen der Doppelbilder aber sofort ändern müssen, wenn wir einen grösseren oder kleineren Horopterkreis zu konstruiren haben.

5. Wir erhalten endlich auch einen klaren Einblick in das Wesen unseres sogenannten Einfachsehens. Dieses *Einfachsehen existirt in Wirklichkeit gar nicht,* wir sehen alle Punkte stets doppelt, nur nicht immer in *getrennten* Doppelbildern. Blickpunkt und Horopterpunkte, die wir gewöhnlich als einfach gesehen taxiren oder deren Bilder in einander zu verschmelzen scheinen, sind nichts anderes als die Kreuzungspunkte der Linien der Doppelbilder. Wir haben auch dieses Resultat als notwendige Konsequenz der kongruenten Konstruktion aus den *angebornen* Eigentümlichkeiten der *kleinen* gelben Flecke und aus der symmetrischen Lage unserer Augen hergeleitet.

Nach verschiedenen Physiologen ist jedoch die sog. Verschmelzung der Sehfelder beider Augen in ein gemeinsames Bild ein *rein psychischer Akt;* das sog. Einfachsehen ein angelerntes Urteil, die getrennte Lage und Vereinigung der Doppelbilder Täuschung des Augenmasses etc., wobei die kongruente Konstruktion und symmetrische Lage unserer Augen gar keine Rolle spielt.

Es ist vollständig einerlei, welcher Anschauung man den Vorzug geben will, da schliesslich beide zu denselben Resultaten führen, nur ist nicht einzusehen, was durch die rein psychischen Erklärungen, denen ja immer etwas Mystisches involvirt, gewonnen sein soll; ein gründlicheres Verständnis der Erscheinungen wird dadurch nicht erreicht und man erhält unwillkürlich den Eindruck, als wenn Unverstandenes durch etwas noch Unverständlicheres erklärt werden wollte. Alle hier hervorgehobenen Erscheinungen sind natürlich sehr leicht durch unseren Fundamentalversuch mit den vorgehaltenen Fingern und Bewegung derselben in verschiedenen Lagen etc. zu konstatiren.

VII. Die Lage des kombinirten Doppelauges.

Wir sind oben bei Untersuchung der Richtung des direkten binokularen Sehens zu dem Resultate gelangt, dass unsere beiden Blicklinien in eine und dieselbe Linie, die wir Doppellinie genannt, zusammen zu fallen scheinen und dass die Lage dieser Doppellinie diejenige gerade Linie ist, welche Blickpunkt und Distanzpunkt verbindet. Auf dieser Doppellinie muss auch das kombinirte Doppelauge oder der Doppelpunkt gelegen sein. Da nun die Bilder sämtlicher Punkte des Horopters in der *wirklichen Lage* unserer Augen auf korrespondirende Punkte fallen, unsere beiden Augen aber so verschoben erscheinen, dass sich die korrespondirenden Punkte decken, so muss die Lage des Doppelpunktes offenbar so gewählt werden, dass auch von dort aus die nach aussen projizirten Horopterbilder die gleichen Horopterpunkte treffen, da wir dieselben ja auch *nach* der scheinbaren Verschiebung unserer Augen in den richtigen Lagen und einfach sehen. Dies ist aber nur möglich, wenn der Doppelpunkt im Horopter selbst gelegen ist. Jedes einzelne Auge liegt ja im Horopter und so muss auch das fiktive Doppelauge konstruktiv als im Horopter selbst gelegen angenommen werden und zwar in *dem* Punkte, in welchem unsere Doppellinie des direkten Sehens den Horopterkreis schneidet. Wir wollen diesen Doppelpunkt mit D bezeichnen. Da nun bekanntlich in optischer Beziehung nur die optischen Knotenpunkte und nicht die Drehpunkte der Augen in Betracht kommen, so muss auch der optische Knotenpunkt des Doppelauges in den Schnittpunkt der Doppellinie mit dem Horopterkreis fallen. Sind unsere beiden Augen r und λ (Fig. 12, Taf. I) auf f einfixirt, so wird der in A gelegene Horopterpunkt seine Bilder in beiden Augen um den Winkel α gegen die Gesichtslinien auf die Retina projiziren. Die Linie Pf ist in diesem Falle die Doppellinie des direkten Sehens. Es ist nun klar, dass nur im Punkte D (da der Doppelpunkt jedenfalls in der Linie Pf liegen muss) auch die Winkel α zur Deckung kommen (da sie Peripheriewinkel über der Sehne Af und folglich gleich gross sind), was nicht der Fall wäre, wenn das Doppelauge im Distanzpunkt oder im Mittelpunkt der Verbindungslinie beider Drehpunkte läge.

Aus unserer Figur 12 folgt noch sofort, dass auch die *indirekten* Sehlinien $A\,r$ und $A\,\lambda$ in die Linie $A\,D$ verlegt werden, also wieder eine Doppellinie aufweisen, wie wir es von den direkten Blicklinien nachgewiesen haben. Wäre z. B. $r\,B$ (Fig. 12) eine materielle Linie, so würde auch diese für das rechte Auge in der Lage $D\,B$ erscheinen müssen. Wir können also allgemein den Satz aufstellen: *Die Linien, welche vom gleichen Horopterpunkt aus durch die optischen Knotenpunkte gehen, werden mit Beibehaltung desselben Horopterpunktes in den Doppelpunkt verlegt und in einer Doppellinie gesehen erscheinen.* Würden wir auch hier, wie bei Fig. 11, die Bilder des rechten Auges rot zeichnen, so müsste natürlich die Linie $B\,D$, als Doppelbildlinie des rechten Auges, rot gezeichnet werden, weil sie direkt mit dem Knotenpunkt r nach D verschoben wird. Linien also, die durch die optischen Knotenpunkte gehen, werden *homonym* in den Doppelpunkt verlegt. Die Linie $B\,r$ (Fig. 12) wird natürlich, wenn sie eine objektive Linie ist, auch vom linken Auge gesehen und daher doppelt erscheinen. Die Lage der Bildlinie des linken Auges werden wir später noch bestimmen. Es ist ferner sofort klar, dass, da die optischen Knotenpunkte nicht in den Drehpunkten der Augen liegen, auch der Doppelpunkt ebensowenig wie der Distanzpunkt ein fixer Punkt ist, sondern mit dem Blickpunkt und Distanzpunkt wandert. Geht z. B. (Fig. 4, Taf. I) der Blickpunkt f nach f_1, so wandert der Distanzpunkt P nach P_1 und gleichzeitig der Doppelpunkt D nach D_1.

Auch dieses Heringsche Phänomen wird meist rein psychisch erklärt. Nach Helmholtz ist das Geradesehen in der Blicklinie optische Täuschung, dadurch entstanden, dass wir die Lage aller Gegenstände auf die *Medianebene unseres Körpers* beziehen. Die Medianebene unseres Körpers fällt indes nur bei einer ganz bestimmten Kopfstellung mit der Medianebene des Kopfes zusammen, gegen welche letztere Medianebene *aber nur die Drehpunkte* der Augen symmetrisch gelagert sind. Wenn jedoch auch oben die Medianebene des Kopfes gemeint sein sollte, so wird auch diese, wie wir bei Betrachtung der Medianlinien des Sehens gefunden haben, immer doppelt und zwar nach Massgabe des Blickpunktes in stets verschiedenen Lagen gesehen; sie kann also kein festes

Beziehungsobjekt abgeben. Da wir nun aber auch noch gefunden haben, dass das Geradesehen in Doppellinien nicht allein für die direkten Blicklinien sondern auch für alle Horopterpunkte gilt, so müsste in obiger Erklärung, anstatt der Medianebene des Körpers, die Bezugnahme auf den Doppelpunkt gesetzt werden, dessen Lage selbst wieder sich schliesslich als variabel herausstellte und von dessen Existenz wir a priori auch keine Ahnung haben. In Wirklichkeit existirt dieses fiktive Doppelauge auch gar nicht. Nach dieser rein psychischen Erklärung aber müssten wir die Lage aller Gegenstände auf die Lage eben dieses Doppelauges beziehen, dessen Lage ja gerade erklärt werden soll. Man bewegt sich also in einem Zirkel, ohne zu einem klaren Verständnis gelangen zu können. Angenommen auch, diese Erklärung wäre die allein richtige, so fehlt ihr jedenfalls in *der* Form das logische Element, das uns zwingt zu begreifen, weshalb denn tatsächlich — da es durch viele Experimente zu beweisen ist — alle korrespondirenden Richtungslinien des binokularen Sehens in Doppellinien zusammenfallen *müssen* bloss aus *dem* Grunde, weil wir die Lage aller Gegenstände auf unsere Persönlichkeit beziehen sollen.

Man mag immerhin das Heringsche Phänomen optische Täuschung nennen — nach unseren Untersuchungen aber (Kapitel V) stellt sich diese Erscheinung als natürliche, notwendige und daher tatsächliche Folge der kongruenten Konstruktion unserer symmetrisch kombinirten Sehorgane dar, und ist es beinahe, nach Erkenntnis der bedingenden Umstände, als psychische Täuschung zu klassifiziren, ein anderes Resultat erwarten zu wollen.

VIII. Konstruktion der Lage der Doppelbilder.

Wenn wir die bisher gefundenen Tatsachen kurz rekapituliren, so können wir dieselben zugleich als Regeln zur Konstruktion der Lage der Doppelbilder aufstellen:

1. Der Horopter ist derjenige Kreis, der durch den Blickpunkt und die beiden optischen Knotenpunkte gelegt werden kann. Die Punkte des Horopters werden stets einfach gesehen und behalten unverrückt ihre Lage. Er wird *zuerst* konstruirt.

2. Der Mittelpunkt der Verbindungslinie der Knotenpunkte ist der jeweilige Distanzpunkt *P*.

3. Diejenige gerade Linie, welche Blickpunkt und Distanzpunkt verbindet, schneidet den Horopterkreis im Doppelpunkt *D*.

4. Alle objektiven Linien, die durch den Distanzpunkt gehen, die Medianlinien des Sehens, werden doppelt gesehen, und zwar heteronym in die optischen Knotenpunkte verlegt mit Beibehaltung des Horopterpunktes.

5. Alle objektiven Linien, die durch die optischen Knotenpunkte gehen, also die Richtungslinien des Sehens, werden mit Beibehaltung des betreffenden Horopterpunktes homonym in den Doppelpunkt verlegt.

Das Prinzip, das wir unserer Konstruktion zu Grunde legen, besteht nun einfach darin, dass wir denjenigen Punkt, von dem wir die Lage der Doppelbilder zu bestimmen haben, zum Schnittpunkt von Medianlinie und Sehlinie machen, von denen wir die Lage der Doppelbilder kennen — auf den Schnittpunkten der gleichnamigen Linien werden auch die Doppelbilder des betreffenden Punktes gelegen sein müssen.

Der leichtern Uebersichtlichkeit wegen wollen wir die farbige Konstruktion beibehalten und, wie früher, das rechte Auge und die zugehörigen Bilder rot, das linke Auge und die entsprechenden Bilder blau zeichnen.

Wir wollen zunächst den einfachsten Fall betrachten, der mit den Annahmen von Figur 1 und 2 korrespondirt. Unsere beiden Augen seien auf den Punkt *f* (Fig. 13, Taf. II) eingestellt und es befinde sich in der Medianlinie der Punkt *A*, also näher als der Blickpunkt. Die Medianlinie wird also in die Blicklinien λf und $r f$ gekreuzt verlegt und auf denselben müssen auch die Doppelbilder von *A* liegen. Denken wir uns nun vom rechten Auge aus eine objektive Linie durch den Punkt *A* gezogen, so schneidet die Linie $r A$ den Horopter im Punkte $(a\, r)$. Diese Linie erscheint als Doppellinie des rechten Auges nach $(a\, r)\ D$ verlegt (rot). Die beiden roten Linien schneiden sich im Punkte *a* und derselbe bezeichnet die Lage des Doppelbildes des rechten Auges. Führen wir ganz die gleiche Konstruktion durch Legen der Linie $\lambda\, A\ (a\, \lambda)$ aus, so finden wir als Doppelbild des linken Auges den Punkt α, weil die Linie in die Lage $(a\, \lambda)\ D$ verlegt sein wird.

Aus dieser einfachen Konstruktion können wir verschiedenes lernen:

1. Wir finden die Bestätigung unserer Beobachtung, dass die Lage der Doppelbilder von Punkten, die näher als der Blickpunkt liegen, ungleichnamig ist.

2. Wir sehen, dass die Doppelbilder a und α ungefähr in der gleichen Entfernung liegen, wie der Objektpunkt.

3. Wenn wir die Doppelbilder a und α durch eine gerade Linie verbinden, so zeigt sich, dass diese Linie auch durch den Objektpunkt A geht. Objektpunkt und Doppelbilder liegen also auf einer und derselben geraden Linie. Bei einiger Ueberlegung werden wir finden, dass dies stets der Fall sein muss, denn da der Punkt P geradlinig nach r und λ verlegt wird, so müssen auch die anderen einzelnen Punkte der Medianlinie korrespondirend verlegt werden. Es ist übrigens sehr leicht, diese Erscheinung aus geometrischen Grundsätzen zu beweisen, wovon wir jedoch hier abstrahiren wollen und uns für künftige Konstruktionen zur Vereinfachung der Operationen bloss diese Tatsache als Regel merken.

4. Wir sehen ferner, dass *im vorliegenden Falle* die Linie $a\ \alpha$ parallel zur Distanzlinie liegt und sind zu dem Schlusse berechtigt, dass die Doppelbilder sämtlicher Punkte der Medianlinie *in-* und *ausserhalb* des Horopters parallel zur Distanzlinie gelegen sein müssen, was sich übrigens auch leicht durch die durchgeführte Konstruktion und auch geometrisch beweisen lässt.

5. Wir können also für einen Punkt B, der ausserhalb des Horopters in der Medianlinie liegt, sofort die Lage der Doppelbilder bestimmen, wenn wir eine Parallele zur Distanzlinie ziehen und erhalten daselbst die gleichnamig gelegenen Bilder b und β und ebenfalls in nahezu der gleichen Entfernung wie der Objektpunkt.

Befände sich nun noch ein dritter Objektpunkt C (Fig. 13) in unserem Sehfelde, der zufälliger Weise im Horopter selbst gelegen wäre, so bliebe derselbe ebenso wie der Blickpunkt f unverlegt, einfach gesehen. Würden die drei Punkte $A\ B\ C$ ein materielles Dreieck bilden, so müsste dieses in den Lagen $a\ b\ C$ und $\alpha\ \beta\ C$ doppelt gesehen werden.

Hier sind wir nun an dem Punkte angelangt, wo man der Konstruktion Le Conte's gedenken kann, welche für

dasselbe Dreieck $A\,B\,C$ der Figur 13 (in Fig. 14, Taf. II) durchgeführt ist. Le Conte benützt nämlich bloss das Heringsche Phänomen und vernachlässigt die Anforderungen, die der Horopter an uns stellt, vollständig. Er dreht einfach das Dreieck $A\,B\,C$ um den Blickpunkt f als Drehpunkt einmal um den halben Gesichtswinkel φ nach rechts und dann ebenso nach links, sämtliche Punkte bewegen sich daher in Kreisbögen, und erhält die 2 mit $A\,B\,C$ kongruenten Dreiecke $a\,b\,c$ für das rechte und $\alpha\,\beta\,\gamma$ für das linke Auge. Er verdreht also das Dreieck in starrer Verbindung mit den Blicklinien, bis letztere in Doppellinien zusammenfallen. Die Eingangs erwähnte Behauptung, dass die Lösung der Aufgabe nicht mit glücklichem Erfolge durchgeführt sei, bedarf nach allem Vorhergegangenen gewiss keiner nähern Begründung mehr.

Wollen wir die Doppelbilder unserer Gesichtslinie $r\,f$ (Fig. 15, Taf. II) bestimmen, so wissen wir, dass in der Doppellinie $f\,D$ die Bildlinie des rechten Auges liegt, also rot zu zeichnen ist. Um diejenige des linken Auges zu finden, legen wir durch einen Punkt A die Medianlinie P $(a\,p)$. Diese wird in $(a\,p)$ λ und $(a\,p)$ r gesehen. In a liegt also das Doppelbild des rechten Auges des Punktes A, weil im Schnittpunkt der gleichnamigen Bildlinien gelegen. Die Verbindungslinie $a\,A$ liefert in α das Doppelbild des linken Auges des Punktes A; in der geraden $f\,\alpha$ haben wir nun auch das Doppelbild des linken Auges der Sehlinie $r\,f$. Aus der Konstruktion ergibt sich nun leicht, dass die verlängerte Distanzlinie in einem Punkte P^1 geschnitten wird, der von r gerade so weit abliegt, wie P von r, so dass auch hier die Objektlinie wieder eine Mittellinie für die Lagen der Doppelbilder darstellt, da ja immer eine symmetrische Verschiebung stattfindet. Wir können also auch diese Eigenschaft zur Vereinfachung der Konstruktion benützen.

Haben wir z. B. die Doppelbilder der Sehlinie $\lambda\,f$ des linken Auges zu bestimmen, so liegt das Doppelbild des linken Auges in $f\,D$, also jetzt blau zu zeichnen. Ziehen wir durch einen beliebigen Punkt B der Gesichtslinie eine Parallele zur Distanzlinie und tragen die daselbst gefundene Entfernung von der Doppellinie m in der Richtung nach b auf, so bestimmt dieser Punkt die Lage $b\,f$ der Bildlinie des rechten Auges. Statt unserer *beiden* Gesichtslinien sehen wir

also *drei* Linien, weil die direkten Sehlinien $r\,f$ und $\lambda\,f$ in der Doppellinie $f\,D$ in *eine* Linie zusammenfallen. Aber auch hier liegen die Doppelbilder schliesslich heteronym, wie es ja für alle Punkte und Linien innerhalb des Horopters gilt, obwohl wir die direkten Sehlinien homonym mit den betreffenden Augen in den Doppelpunkt verlegt haben.

Wir können nun auch ganz leicht allgemein die Lagen der Doppelbilder jedes beliebigen, in oder ausserhalb des Horopters gelegenen Punktes bestimmen.

Es sei (Fig. 16, Taf. II) unser Horopterkreis, durch die Lagen von $\lambda\,r$ und f bestimmt, gezeichnet, dann ergibt sich daraus auf bekannte Weise die Lage des Distanzpunktes P und des Doppelpunktes D. Befindet sich nun innerhalb des Horopters irgendwo ein Punkt A, so ziehen wir zunächst die Medianlinie $A\,P$, diese gibt den Horopterpunkt $(a\,p)$. Linie $P\,(a\,p)$ erscheint heteronym verlegt in $\lambda\,(a\,p)$ und $r\,(a\,p)$. Nun ziehen wir z. B. $r\,A$, gibt Horopterpunkt $(a\,r)$. Diese Linie erscheint homonym verlegt in $(a\,r)\;D$ und gibt im Schnittpunkt der gleichnamigen Linien, in a, den Doppelpunkt des rechten Auges. $A\,a$ gezogen, ergibt im Schnittpunkt α das Bild des linken Auges. Ein weiterer Punkt B ausserhalb des Horopters mit P verbunden gibt Horopterpunkt $(b\,p)$. Diese Linie wird mit Beibehaltung dieses Horopterpunktes heteronym verlegt nach $(b\,p)\;r$ und $(b\,p)\;\lambda$. Verbindet man B mit λ, so erhält man den Horopterpunkt $(b\,\lambda)$. Diese Linie wird wieder mit Beibehaltung des Horopterpunktes homonym nach $D\;(b\,\lambda)$ verlegt und ergibt das Doppelbild β des linken Auges. $\beta\,B$ verlängert gibt Schnittpunkt b als Bild des rechten Auges. Wären die Punkte $A\,B$ Endpunkte einer geraden Linie, so würde dieselbe in den Lagen $a\,b$ für das rechte Auge und $\alpha\,\beta$ für das linke Auge gesehen. Die Zeichnung zeigt nun deutlich, dass die drei Linien $A\,B$, $a\,b$ und $\alpha\,\beta$ sich auch in *einem* Punkte des Horopters schneiden, wie es sein soll. Befände sich noch ein anderer Punkt C ausserhalb des Horopters, so kann man zur Vereinfachung der Konstruktion sofort von diesem letzteren Resultate summarisch Gebrauch machen. Man kann vom Punkte A die Verbindungslinie $A\,C$ und durch den dadurch erhaltenen Horopterpunkt aus a und α die gleichnamigen Bildlinien ziehen. Nun kann man z. B. durch Ziehung von $C\,\lambda$ mit

Beibehaltung des Horopterpunktes sofort in der Linie $D\gamma$ den Punkt γ, und daraus auf bekannte Weise auch c erhalten. Das Dreieck $A\,B\,C$ wird daher für das rechte Auge in $a\,b\,c$, für das linke in $\alpha\,\beta\,\gamma$ gesehen.

Es ist wohl einleuchtend, dass die Konstruktion ganz allgemein, auch für parallele Blicklinien und beliebige Blickrichtung gilt. Bei paralleler Blickrichtung geht der Horopter in eine gerade Linie über, Doppelpunkt und Distanzpunkt fallen zusammen und alle Doppelbildlinien sind parallel. Punkte ausserhalb des Horopters gibt es selbstverständlich nicht, daher auch alle Doppelbilder heteronym gelegen sein müssen.

Es mag jedoch hier schliesslich hervorgehoben werden, dass das letztere summarische Konstruktionsverfahren nicht auf mathematische Genauigkeit Anspruch machen kann, dass aber der dadurch begangene Fehler gewöhnlich zu vernachlässigen sein wird. Es ist nämlich nicht richtig, dass die Doppelbilder gerader Linien auch immer gerade erscheinen müssen. Um zu einem genauen Resultate zu gelangen, muss man die Konstruktion nicht auf die Endpunkte der Linien beschränken, sondern die Lage der einzelnen Punkte nach unserer Hauptmethode bestimmen und die entsprechenden Punkte verbinden, wobei sich meist eine Kurve statt einer geraden Linie als Resultat herausstellen wird.

Helmholtz sagt zwar bei seiner Untersuchung des Totalhoropters, dass jede durch zwei Punkte des Horopters gehende gerade Linie *einfach* gesehen wird. Wir können aber sehr leicht nachweisen, dass dieses Resultat für die Primärebene wenigstens keine Gültigkeit haben kann. Der Punkt A (Fig. 17, Taf. II) wird ganz gewiss in a und α gesehen, wie wir bei Konstruktion in Figur 13 und im Fundamentalversuch nachgewiesen haben. Ist der Punkt A nun ein Punkt der Linie $B\,C$, die den Horopter in zwei Punkten schneidet, so kann diese nur in den Doppelbildlinien $B\,a\,C$ und $B\,\alpha\,C$ gesehen werden, da die Horopterpunkte B und C einfach gesehen werden müssen. Auch die zur Distanzlinie parallele Linie $B\,D$ wird ungefähr in der in Figur 17 gezeichneten welligen Form erscheinen, wie man sich nach durchgeführter Konstruktion überzeugen kann. Da übrigens die Linien in der Primärebene liegen, auf welche wir unsere Konstruktion beschränken,

so werden die obigen Lagen der Doppelbilder nur in den Projektionen auf der Linie selbst gesehen werden, d. h. die einzelnen Punkte der Linien werden in Doppelbildern *in* der Linie selbst liegend verschoben erscheinen und sind deshalb schwer tatsächlich zu beobachten. Unsere Zeichnungen stellen bloss die Horizontalprojektionen der Primärebene dar. Auch die Tangente an den Blickpunkt *f*, Figur 17, erscheint in Kurven (im Totalhoropter in gekrümmten Flächen) und *daher* rühren die eigentümlichen Bewegungserscheinungen, welche man namentlich leicht und auffallend beobachten kann, wenn man z. B. auf einer Wand oder ebenen Fläche überhaupt mit klein gemusterter Tapete etc. den Blickpunkt ruckweise von Punkt zu Punkt wandern lässt; ja selbst monokular ist diese Erscheinung deutlich wahrnehmbar.

Unsere Konstruktionslinien werden jedoch immer geradlinig gesehen, weil es teils Sehstrahlen selbst sind, teils Linien, welche unmittelbar durch die letztern bedingt werden. Da es sich hier nicht um eine erschöpfende Behandlung des vorliegenden Problemes handeln kann, so mag es mit dieser Andeutung genügen, und hätten wir also somit die uns gestellte Aufgabe gelöst, die darin bestand, allgemein die Lage der Doppelbilder in der Primärebene konstruktiv zu bestimmen.

Bei experimenteller Untersuchung der Lage der Doppelbilder bei verschiedenen Positionen der Objekte im Gesichtsfelde stösst man jedoch häufig auf Erscheinungen, welche ganz verwirrend wirken, indem sie die Richtigkeit unserer Deduktionen und Konstruktionen umzustossen scheinen. Man findet z. B. grosse Partien auch in- und ausserhalb des Horopters, wo Objekte bloss einfach gesehen werden; wo sich solche Objekte aber doch nur als Halbbilder — welche Benennung eigentlich richtiger wäre als Doppelbilder — dokumentiren, welche aber auch ausserhalb des Horopters sich als heteronyme Bilder erweisen; man findet z. B. die Erscheinung, dass zwei Punkte, rechts weiss und links rot, umgekehrt gelegen erscheinen, also rechts rot und links weiss; man begegnet der Erscheinung, dass ein oder zwei verschiedene Objektpunkte ganz verschwinden, unsichtbar werden etc. etc. Diese Erscheinungen erklären sich aber sehr leicht und können konstruktiv vorher festgelegt und nachträglich

durch das Experiment bestätigt werden, und geben dann direkte Beweise ab, dass unsere Konstruktion richtig ist.

Die Ursache liegt zum Teil darin, dass das von beiden Augen gemeinschaftlich beherrschte Gesichtsfeld bloss ungefähr 90 bis 100 Grad beträgt, indem der Nasenvorsprung beidseitig zirka 45 Grad verdeckt, während unser Gesamt-Sehfeld über 180 Grad umfasst. Aber auch in diesem gemeinschaftlich von beiden Augen beherrschten Sehfelde liegen die Projektionen der blinden Flecke nach aussen; Objekte, die z. B. in der Projektion des blinden Fleckes des rechten Auges liegen, werden nur einfach und zwar als Doppel- oder Halbbilder des linken Auges gesehen werden können und umgekehrt. Selbstverständlich werden auch die Projektionen der blinden Flecke ebenso verlegt (Konstruktion nach Fig. 15), als wenn sie objektive Linien wären, ebenso wie auch die Punkte, die vermöge des Nasenvorsprunges nur von einem Auge gesehen werden können, wenn sie nicht im Horopter selbst liegen, *falsch liegend gesehen werden müssen.*

Die Beurteilung der Lage der Objekte im Raume soll uns hauptsächlich durch den Tastsinn vermittelt werden. Dieser Tastsinn kann aber in Bezug auf die Richtung des Gesehenen nur durch Vermittlung des Auges ausgebildet werden. Es zeugt nun von einer merkwürdigen Ungelehrigkeit der Psyche, dass wir nur *dann* einen Gegenstand richtig, d. h. direkt betasten können, wenn wir ihn vorher durch Fixiren *einfach* gelegt haben; erscheint er in Doppellbildern, so greifen wir sicher daneben.

Wir wollen uns auch hier bei dieser kurzen Andeutung bescheiden und schliesslich nur noch hervorheben, welchen Wert man *unter Umständen* der Beteuerung zuerkennen kann: *„Das habe ich mit meinen eigenen Augen gesehen!“*