

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

## Das Verhältniß von Accommodation und Konvergenz zur Tiefenlokalisation.

Von

Dr. FRANZ HILLEBRAND,

Docenten der Philosophie an der Universität zu Wien.

(Mit 2 Figuren im Text.)

§ 1. Wenn man darnach fragt, wie (bei Ausschluß aller durch die Erfahrung gegebenen Lokalisationsmotive) die Tiefenbestimmtheit eines Sehdinges zu stande kommt und von welchen Gesetzen sie beherrscht wird, so hat man vor allem zwei Dinge zu unterscheiden, bezw. jene Frage in zwei Teilfragen zu zerfällen:

1. Wovon hängt der Tiefenwert des fixierten Punktes ab?
2. Nach welchen Gesetzen entstehen die Tiefenwerte aller nicht fixierten Objekte in Bezug auf das fixierte? D. h. wovon hängt es ab, daß ein nichtfixiertes Objekt ferner, gleich weit entfernt oder näher erscheint als der Fixationspunkt?

Die erste Frage richtet sich auf die Lokalisation des Kernpunktes und der Kernfläche (HERING), die zweite auf die Lokalisation in Bezug auf die Kernfläche. Es handelt sich also das eine Mal sozusagen um absolute, das andere Mal um relative Tiefenlokalisation.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Diese Ausdrucksweise darf nicht mißverstanden werden. Die Lokalisation des Kernpunktes ist ja, insofern sie auf den eigenen Körper bezogen wird, auch eine relative, und nur insoweit die außerhalb des Kernpunktes gelegenen Punkte in ihrer Lokalisation auf diesen bezogen werden, kann man den Kernpunkt als absolut, die anderen Punkte als relativ lokalisiert bezeichnen. Vergl. dazu HERING, *Beiträge zur Physiologie*, 5. Heft, pag. 342.

In der Geschichte des Problems der Tiefenwahrnehmung ist es die letztere Frage gewesen, welche fast ausschließlich das Interesse des beteiligten Forscherkreises für sich in Anspruch genommen hat. Und in der That kann man sagen, daß die fundamentalen Gesetze, welche die Lokalisation relativ zur Kernfläche bestimmen, heute vollkommen klargelegt sind.

Wir wissen, daß, wenn sich ein Punkt auf zwei Stellen von identischer Sehrichtung abbildet, der entsprechende Sehpunkt in der Kernfläche erscheint, daß er aber vor oder hinter der Kernfläche erscheint, sobald die beiden Bilder auf querdisparate Netzhautstellen fallen, und zwar vor der Kernfläche, wenn die Disparation eine gekreuzte, hinter derselben, wenn sie eine ungekreuzte (gleichseitige) ist.

So sind denn die Bedingungen klargestellt, von denen die Lokalisation eines Punktes relativ zum fixierten abhängt (sofern nicht erfahrungsmäßige Motive der Lokalisation wirksam sind).

Nicht dieselbe Klarheit herrscht in Betreff der Gesetze, welche die Tiefenlokalisierung des Kernpunktes (und damit der Kernfläche) selbst bestimmen. Daß dieselbe in irgend einem Zusammenhang mit der Konvergenz der Gesichtslinien stehen müsse, ist ja klar, und in der That haben diejenigen, welche dieser Frage ihre Aufmerksamkeit zugewendet, hierin das bestimmende Moment für die Lokalisation des Kernpunktes gesehen. Aber wie jener Zusammenhang zu denken sei, darüber gehen die Ansichten von allem Anfang an auseinander. Die am meisten verbreitete Anschauung geht dahin, daß wir uns der Konvergenzänderung durch Muskelempfindungen (oder „Muskelgefühle“), also auf centripetalem Wege, bewußt werden, indem die Qualitäten dieser Empfindungen entweder selbst räumlich bestimmt oder aber mindestens von Raumbestimmungen associativ begleitet sind, in der Weise etwa, daß mit wachsender Intensität der Muskelempfindungen sich abnehmende Fernwerte verbinden. (Manche haben sich die Gelegenheit nicht entgehen lassen, auch hier wieder von „Schlüssen“ — und selbstverständlich von „unbewußten“ — zu sprechen.)

Nach der Ansicht Anderer ist der Zusammenhang zwischen Konvergenz und Lokalisation des Kernpunktes in der Weise zu denken, daß schon mit der Innervation zur Konvergenz eine entsprechende Raumempfindung (in diesem Falle eine

relative Nahempfindung) sofort mitgegeben und also central (nicht centripetal) erzeugt sei, und ebenso mit dem Nachlassen dieser Innervation, bezw. mit der antagonistischen Innervation (in welchem Falle eine relative Fernempfindung entsteht). Nach dieser Ansicht kommt es also nicht auf den Erfolg der Innervation an, der uns auf irgend welchem centripetalen Wege kund würde, sondern auf die Innervation selbst.

Indessen sind auch von diesem Standpunkte aus noch zweierlei Auslegungen des Lokalisationsvorganges möglich und in der Litteratur thatsächlich vertreten.

Man kann nämlich entweder annehmen, daß mit dem Innervationsakte an sich schon die Nähen- bezw. Fernempfindung gegeben sei, oder aber, daß dies der Fall sei, insofern jene Akte bereits durch eine Nähen- oder Fernvorstellung hervorgerufen worden sind, so daß also die Nähen- oder Fernvorstellung als das Primäre, die entsprechende Innervation aber als das Sekundäre anzusehen wären, ein Standpunkt, den — soviel ich weiß — HERING als der Erste eingenommen hat. Man muß sich demzufolge vorstellen, daß ein vor oder hinter dem fixierten gelegener Punkt dadurch, daß er in gekreuzten oder ungekreuzten Doppelbildern (bezw. in gekreuzter oder ungekreuzter Disparation) erscheint und sonach einen Nah- oder Fernwert besitzt, vermöge eben dieses Nah- oder Fernwertes, wenn er fixiert werden soll, einen Anreiz auf das entsprechende Bewegungscentrum ausübt und so die Art der Innervation bestimmt.

---

Diese theoretischen Überlegungen will ich jetzt verlassen und sogleich angeben, welcher Frage die folgende Untersuchung gewidmet ist. Die Beziehung, in welcher dieselbe zu den obigen Theorien steht, wird man bald erkennen.

---

§ 2. Wenn man zwei verschieden weit entfernte Punkte abwechselnd monokular fixiert, derart, daß der jeweils fixierte Punkt scharf gesehen wird, so können (qualitative Gleichheit der Lichter vorausgesetzt) die beiden Netzhautreize beide Male dieselben sein. Soll nun die verschiedene Tiefenlage der beiden Aufsenpunkte in der Empfindung zum Ausdruck gelangen, so kann dies (wenn wir einmal von der gleichzeitigen

Stellungsänderung des zweiten, vom Sehakte ausgeschlossenen Auges absehen) nur unter dem Einflusse des verschiedenen Accommodationszustandes geschehen, sei es, dafs uns der jeweilige Accommodationszustand selbst über die Tiefenlage des einzelnen Sehpunktes unterrichtet, sei es, dafs der Accommodationswechsel die Empfindung einer Entfernungsänderung hervorruft. Die Frage ist nun, ob eine solche Beziehung zwischen Accommodation und monokularer Tiefenlokalisation besteht oder nicht.

Über diesen Gegenstand liegt — so viel ich weifs — eine einzige Untersuchung vor, welche WUNDT ausgeführt und in seinen *Beiträgen zur Theorie der Sinneswahrnehmung* als dritte Abhandlung mitgeteilt hat.<sup>1</sup> Indessen scheinen mir weder die Versuche dieses Forschers völlig exakt und mit Ausschluß aller in Frage kommenden Fehlerquellen ausgeführt, noch auch die Schlüsse, die er aus ihnen zieht, sämtlich zwingend (worauf ich im Laufe dieser Untersuchung näher eingehen werde); und darum halte ich es nicht für überflüssig, die betreffende Frage einer neuerlichen sorgfältigen Prüfung zu unterwerfen, um so mehr, als WUNDTs Resultate in die meisten physiologisch-optischen Kompendien Eingang gefunden haben und als feststehend angesehen werden, was sie meiner Meinung nach nicht durchwegs sind.

§ 3. Bevor ich an die Mitteilung der Versuche gehe, scheinen mir noch zwei Bemerkungen am Platze zu sein, von denen sich die erste auf eine genauere Präzision der Aufgabe, die zweite auf den Zusammenhang derselben mit den eingangs skizzierten Theorien bezieht.

Bei der Untersuchung, ob zwischen Accommodation und Tiefenlokalisation eine Beziehung besteht, muß es sich in erster Linie um die Bestimmtheit, nicht um die Richtigkeit der Lokalisation handeln. Das Wesentliche liegt ja in der Frage, ob uns die Accommodation überhaupt zu einer Tiefenempfindung verhilft, was wir daran erkennen würden, dafs das Variieren der ersteren auch einen Wechsel der letzteren mit

<sup>1</sup> In der *Zeitschrift für rationelle Medizin* von HENLE und PFEUFFER, III. Reihe, VII. Bd., pag. 321 ff. Die 1869 erschienene Doktor-Dissertation von HILCKER, welche sich zur Aufgabe stellt, die Tiefenschätzung bei verschiedenen (normalen und anomalen) Refraktionszuständen zu untersuchen, ist, wie ich unten ausführen werde, leider unbrauchbar.

sich führt. Es ist eine ganz andere und in Hinsicht auf diese Frage logisch sekundäre Untersuchung, ob die etwa durch die Accommodation veranlafsten Tiefenempfindungen richtig, d. h. mit den objektiven Entfernungsausmaßen übereinstimmend sind, eine Frage, die uns hier nicht beschäftigt.

§ 4. Was die Beziehung zu den früher erwähnten Theorien über die Lokalisation eines binokular fixierten Punktes anlangt, so wird dieselbe sofort klar, wenn man sich an die bekannte physiologische Association zwischen Accommodation und Konvergenz erinnert. Die allmähliche Anspannung der Accommodation beim Heranrücken eines monokular fixierten Punktes ist von einer Vergrößerung des Konvergenzwinkels begleitet, auch wenn das andere Auge vom Sehakt ausgeschlossen ist. Dies ist für unsere Frage von Bedeutung: sind nämlich Entfernungsunterschiede beim Accommodationswechsel erkennbar, so kann der Grund sowohl in der Accommodation selbst wie auch in der gleichzeitigen Konvergenz liegen (die Anhänger der Muskelgefühlstheorie haben dann die Auswahl zwischen Empfindungen von seiten der Binnenmuskulatur und solchen von seiten des äußeren Bewegungsapparates); leistet aber der Accommodationswechsel nichts dergleichen, dann ist implicite damit bewiesen, daß auch die Konvergenz einer solchen Leistung unfähig ist. Hierbei ist die Thatsache ohne Bedeutung, daß jene Beziehung zwischen Accommodation und Konvergenz nicht in der Weise eindeutig ist, daß einem bestimmten Konvergenzwinkel nur ein einziger, ganz bestimmter Accommodationszustand zugehörte, was bekanntlich nicht genau der Fall ist (relative Accommodationsbreite); und ebensowenig verschlägt es, daß durch Einführung besonderer Versuchsbedingungen und durch Übung die Lösung jener Association noch etwas weiter getrieben werden kann (RUETE, DONDERS).

§ 5. Da WUNDT auf diesen Punkt zu sprechen kommt, äußert er sich folgendermaßen:

„Man könnte . . . geneigt sein, das Accommodationsgefühl den äußeren Augenmuskeln zuzuschreiben, deren Bewegung gewöhnlich in inniger Verbindung mit den Accommodationsbewegungen steht, indem mit einem bestimmten Konvergenzwinkel der Sehachsen meistens diejenige Anpassung des Auges verbunden ist, die der Entfernung des Konvergenzpunktes entspricht. Hiergegen ist aber zu erinnern, daß erstens nach den Untersuchungen von VOLKMANN, DONDERS, CZERMAK u. a. jener

Zusammenhang jedenfalls sehr häufig fehlt, und dafs zweitens gerade in unseren Versuchen, in denen das eine Auge in immer gleicher Richtung durch eine Röhre sieht, während das andere geschlossen bleibt, der Einfluss der Konvergenzbewegungen wie überhaupt aller Augenbewegungen ganz und gar ausgeschlossen ist.<sup>1</sup>

Was nun zunächst die einschlägigen Arbeiten der drei obengenannten Forscher anlangt, so ist der Bericht WUNDT'S nicht ganz vollständig und schliesst nicht aus, dafs sich der Leser ein falsches Bild von ihren Resultaten macht. VOLKMAN (und übrigens vor ihm schon J. MÜLLER) hat nur angegeben, dafs, wenn er ein Auge auf einen gewissen Punkt accommodierte, während das andere verdeckt war, und nun plötzlich die Deckung entfernte, der betreffende Punkt anfänglich in nahe aneinanderliegenden Doppelbildern erschien — was nichts anderes beweist, als dafs einem gewissen Accommodationszustand nicht ein einziger Konvergenzgrad, sondern ein bestimmtes Intervall von Konvergenzen entspricht.<sup>2</sup> Die Versuche von DONDERS sind, wie schon CZERMAK<sup>3</sup> hervorhebt, unter

<sup>1</sup> A. a. O. pag. 339. Das unmittelbar anschliessende Argument werde ich später berücksichtigen.

<sup>2</sup> Welcher Art die so entstehenden Doppelbilder sind (ob gekreuzt oder ungekreuzt), einen wie grossen Abstand sie ferner voneinander haben, dies hängt sowohl von den (normalen oder anomalen) Refraktionsverhältnissen, als auch von der absoluten Accommodationsbreite des einzelnen Beobachters ab. Der Hypermetrope z. B. braucht zur Accommodation für die Nähe einen abnormen Kraftaufwand. Er wird daher (vermöge der erwähnten Association) das gedeckte Auge stärker einwärts wenden, als es der Lage des vom anderen Auge fixierten Punktes entspricht. Wenn die Deckung entfernt wird, so muß das nun binokular gesehene Objekt in ungekreuzten Doppelbildern erscheinen. Man sieht leicht, dafs die Distanz derselben (unter sonst gleichen Umständen) um so grösser sein muß, je stärker die Hypermetropie ist, bzw. wenn es sich um eines und dasselbe Individuum handelt, je näher der zu fixierende Punkt liegt. — Der umgekehrte Fall wird bei Myopie eintreten; und auch hier muß die Distanz der Doppelbilder um so grösser sein, je stärker die Myopie ist, bzw. — bei einem und demselben Individuum — je grösser die Entfernung des Fixationspunktes ist. In analoger Weise wird man die Wirkung von Accommodationsanomalien (z. B. der Presbyopie) auf Lage und Distanz der Doppelbilder ableiten können.

<sup>3</sup> Vgl. seine Abhandlung: Über den Zusammenhang zwischen der Konvergenz der Augenachsen und dem Accommodationszustand der Augen, 1854 und 55; wiederabgedruckt in den *Gesammelten Schriften von Joh. Nep. Czermak*. Leipzig 1879. I. Bd., 1. Abt., pag. 243 ff.

künstlichen Umständen (Vorsetzen von Röhren und Linsen) gemacht, wie ja auch der Verschluss eines Auges eine Entfernung von den normalen Bedingungen des Sehens bedeutet. Derartige künstliche Bedingungen hat DONDERS nur eingeführt, um die Grenzen des Zusammenhanges zwischen Konvergenz und Accommodation, an dem er keineswegs zweifelte, zu bestimmen. Ja seine Untersuchungen über relative Accommodationsbreite würden von vornherein keinen Sinn haben, wenn ihm jene physiologische Association nicht festgestanden wäre.

Ähnliches gilt von CZERMAK. Dieser hat es (ohne künstliche Hilfsmittel) „durch anhaltende und anstrengende Übungen“ dahin gebracht, auf einen nahen Gegenstand zu accommodieren, dabei aber die Gesichtslinien in geringere Konvergenz zu bringen, als dem betreffenden Gegenstande entsprechen würde, während es ihm weder gelingt, bei unveränderter Accommodation für die Entfernung des Gegenstandes den Schnittpunkt der Gesichtslinien vor den Gegenstand fallen zu lassen,<sup>1</sup> noch auch bei richtiger Einstellung der Gesichtslinien auf den Gegenstand für einen jenseits desselben gelegenen Punkt zu accommodieren.<sup>2</sup> In der That hält auch CZERMAK an dem Gesetze von der Association zwischen Konvergenz und Accommodation fest. Und mit Recht. Denn wenn auch bei Anwendung künstlicher Mittel oder durch besondere Anstrengung und fortgesetzte Übung eine Lösung dieses Zusammenhanges bis zu einem gewissen Grade möglich ist, so ist doch damit keineswegs bewiesen, daß eine solche beim Sehen unter normalen Verhältnissen statthat. Für diese Fälle haben vielmehr nur die Beobachtungen von J. MÜLLER und VOLKMANN Geltung, und diese beweisen (wie schon erwähnt) nichts anderes, als daß jene Beziehung keine im strengen Sinne eindeutige genannt werden kann.

Nicht recht begrifflich aber ist es weiter, wie WUNDT behaupten kann, daß bei seinen Versuchen, „in denen das eine Auge in immer gleicher Richtung durch eine Röhre sieht, während das andere geschlossen bleibt, der Einfluß der Konvergenzbewegungen, wie überhaupt aller Augenbewegungen, ganz und gar ausgeschlossen ist“. Daß von einem Aus-

<sup>1</sup> A. a. O. pag. 252.

<sup>2</sup> A. a. O. pag. 255.

geschlossensein nicht die Rede ist, davon kann sich jeder durch einen ganz einfachen Versuch überzeugen. Man halte in Armeslänge ein Fixationsobjekt, etwa eine Schreibfeder, vor das eine Auge, und zwar so, daß sich das Auge beim Fixieren in der Primärstellung befindet; man schliesse das andere Auge und lege einen Finger leicht auf das Lid. Rückt man nun das Fixationszeichen längs der Gesichtslinie immer näher und näher (indem man es etwa an einem passend gestellten Lineal verschiebt), so bleibt das fixierende Auge still stehen. Folgt man dabei mit der Accommodation, so kann man schon mit dem tastenden Finger die Einwärtswendung der vorgewölbten Cornea des geschlossenen Auges konstatieren; ein derartig rohes und unvollkommenes Hilfsmittel reicht schon hin, um die mit der Accommodation verbundene Konvergenz zu erkennen, und zwar, wie man sieht, in einem Falle, wo jener Zusammenhang jedes praktischen Wertes entbehrt.

Bekanntlich setzt der Augenarzt diesen Zusammenhang voraus, wenn er eine Motilitätsstörung aus der sogenannten Sekundärablenkung diagnostiziert. Der Patient wird dabei angewiesen, mit dem einen Auge einen nahen Gegenstand (etwa einen Finger) zu fixieren; das andere Auge wird so mit der Hand gedeckt, daß es das Fixationsobjekt nicht sehen kann, daß aber der Untersuchende dieses Auge zu beobachten vermag. Erfolgen nun beim abwechselnden Wegziehen und Vorhalten der Hand merkliche laterale Augenbewegungen („Einrichtungsdrehungen“), d. h. weicht das gedeckte Auge infolge der Deckung von der richtigen Einstellung irgend merklich ab, so wird daraus auf eine Motilitätsanomalie geschlossen.

§ 6. Wenn also im Folgenden die Leistung der Accommodation für die Tiefenlokalisierung untersucht werden soll, so ist dabei in dem oben (S. 101) bezeichneten Sinne *implicite* auch die Leistung der Konvergenz mit betroffen.

Aber noch mehr. Es läßt sich — glaube ich — auf Grund einer von HERING längst gepflogenen Überlegung<sup>1</sup> zeigen, daß es gar keinen anderen Weg, als den der monokularen Untersuchung giebt, um den Einfluß der bloßen Konvergenzbewegung auf die Tiefenempfindung zu prüfen, d. h. keinen

---

<sup>1</sup> Vgl. *Beiträge zur Physiologie*. 5. Heft. § 127: Von der Lage des Kernpunktes relativ zum Ich, pag. 343 ff.

anderen Weg, um das Moment der Konvergenz zu isolieren. Ich will dies sogleich deutlich zu machen versuchen.

Es sei im vollkommen verdunkelten Raume ein leuchtender Punkt gegeben; derselbe liege (der Einfachheit wegen) median und in der primären Blickebene und werde binokular fixiert. Dieser Punkt bewege sich nun (immer in der Median- und primären Blickebene) gegen den Beobachter, welcher den Punkt fortwährend fixiert. Der Beobachter erkennt die Richtung der Bewegung; es fragt sich nur, woraus er sie erkennt. Der Vorgang ist, wie schon HERING auseinandergesetzt hat, offenbar folgender: sobald der Punkt den Ort verläßt, in welchem sich die Gesichtslinien schneiden, bildet er sich sofort mit gekreuzter Disparation ab und bekommt dadurch einen relativen „Nahwert“, und dieser ist es, der den Anstoß zur Vermehrung der Konvergenz erteilt. Wir können uns die ganze Linie, die der Lichtpunkt bei seiner Bewegung durchmisst, in sehr kleine Elemente zerlegt denken. In jedem solchen „Näherungselement“ findet der eben beschriebene Vorgang statt: zuerst der Eintritt der (gekreuzten) Disparation und im Gefolge dieser die Innervation zu stärkerer Konvergenz. Tatsächlich werden diese Änderungen infinitesimal erfolgen, sobald nur permanent fixiert wird. Am Wesen der Sache ändert sich natürlich nichts; wenn das Objekt diskontinuierlich fixiert wird, in der Weise etwa, daß ein Objekt zu erscheinen aufhört und sogleich darauf ein näheres oder ferneres ins Gesichtsfeld tritt.

In diesen Fällen ist es also die Disparation auf der Doppelnetzhaut, welche die Nah- oder Fernempfindung verursacht. Auf dieser Disparation beruht bekanntlich die binokulare Stereoskopie, d. h. das Tiefensehen relativ zum fixierten Punkt.

Der vorstehende Versuch ist also nicht dazu geeignet, den Einfluß der bloßen Konvergenz (sei es nun der Konvergenzinnervation oder einer centripetalen Konvergenzempfindung) festzustellen; er ist nicht im stande, darüber zu entscheiden, wovon die Lokalisation des Kernpunktes abhängt, da der jeweilige Kernpunkt nicht unabhängig von seinem Vorgänger lokalisiert wird, mit anderen Worten da der augenblickliche Kernpunkt in Relation zu dem unmittelbar vorhergehenden Kernpunkt auf Grund derselben Motive lokalisiert wird, welche bei der simultanen Stereoskopie das Näher- oder Fernerliegen eines Punktes relativ zum fixierten bestimmen.

Ob und mit welchem Grade von Empfindlichkeit Tiefenunterschiede auf Grund der Konvergenz allein empfunden werden, das läßt sich auf Grund derartiger Versuche keinesfalls ausmachen; denn hier kann die Konvergenz (weder im Sinne des Konvergenzaktes, noch in dem einer von der Peripherie stammenden Konvergenzempfindung) unmöglich isoliert untersucht werden.

Diesen sehr wesentlichen Umstand hat WUNDT übersehen. Indem er die geringsten, noch sicher erkennbaren Entfernungsdifferenzen mit Hülfe eines bewegten Fadens erst monokular, dann binokular ermittelt, glaubt er die Verschiedenheiten der Resultate beider Versuchsreihen lediglich darauf zurückführen zu müssen, daß bei der binokularen Beobachtung Empfindungen von seiten der Recti externi und interni zu den beim monokularen Sehen maßgebenden „Accommodationsgefühlen“ hinzutreten,<sup>1</sup> während, wie erwähnt, das beide Fälle wesentlich unterscheidende Moment darin liegt, daß das eine Mal eine Disparation der Bilder gegeben ist, die im anderen Falle mangelt.

§ 7. Aufser der viel größeren Unterschiedsempfindlichkeit findet WUNDT noch ein anderes Moment, durch welches sich die binokularen Beobachtungen von den monokularen unterscheiden: während er nämlich beim einäugigen Sehen konstatiert zu haben glaubt, daß die Unterscheidungsgrenze für die Annäherung geringer sei, als für die Entfernung, ergibt sich

<sup>1</sup> Vgl. die 4. Abhandlung der Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung in der *Zeitschr. f. rat. Medicin.* 3. Reihe, XII. Bd., pag. 145 ff. Einen viel weniger begreiflichen Fehler hat HILCKER (*Versuche über die Fähigkeit der Schätzung nach der Tiefendimension bei den verschiedenen Brechungszuständen der Augen, bei Sehschärfeherabsetzung und beim Fehlen des binokularen Schaktes*, Inaugural-Dissertation, Marburg 1889) begangen. Wenn Jemand den Einfluß der verschiedenen Brechungszustände auf die Tiefenlokalisation untersuchen will, dann ist doch gar keine Versuchung vorhanden, die Beobachtungen binokular zu machen! Der erwähnte Autor hat dies (die Untersuchung Einäugiger abgerechnet) wirklich gethan. Wie wenig orientiert derselbe übrigens über die wesentlichsten Gesetze des Tiefensehens ist, zeigt sich auch darin, daß er bei Erwähnung der Bedingungen der binokularen Stereoskopie nur so anhangsweise die gekreuzten bez. ungekreuzten Doppelbilder erwähnt. „Ferner,“ heißt es pag. 24, „ist das verschiedene Verhalten der Doppelbilder, je nachdem von zwei Punkten der ferner gelegene oder näher gelegene Punkt fixiert wird, von Einfluß auf unsere Tiefenwahrnehmung.“ Und doch ist gerade dieser Umstand der wesentliche.

ihm, daß diese Verschiedenheit beim zweiäugigen Sehen „gerade in jenen Distanzen, in denen sie bei monokularem Sehen am deutlichsten hervortrat, gar nicht vorhanden oder verschwindend klein“ ist. Daran schließt WUNDT folgende Bemerkung:

„Diese beiden wesentlichen Differenzen zwischen der Erkennung von Distanzunterschieden bei monokularem und bei binokularem Sehen erklären sich nur durch die Annahme, daß im letzteren Falle nicht die Accommodation, sondern die Konvergenzbewegungen oder vielmehr die mit ihnen verknüpften Muskelgefühle das Hilfsmittel zur Entfernungsbestimmung abgeben.“<sup>1</sup>

Indessen hätte WUNDT für keinen der beiden Unterschiede nötig gehabt, jene hypothetischen Muskelgefühle als Erklärungsprinzip heranzuziehen. Daß die grössere Feinheit im Erkennen von Distanzunterschieden beim Binokularsehen auf der Wirkung der Disparation beruht (die ja beim Monokularsehen wegfällt), ist schon erwähnt worden. Weiter ist aber auch klar, daß die Disparation mit demselben Grade von Genauigkeit wirken muß, ob sie nun eine gekreuzte oder ungekreuzte ist, ob sich also der fixierte Punkt nähert oder entfernt. So leistet denn hier eine vera causa mindestens ebensoviel wie die bloß hypothetisch geforderten „Muskelgefühle“; welches Erklärungsprinzip dann den Vorzug verdient, darüber kann doch wohl kein Zweifel aufkommen.

(Ich will hier noch nicht weiter darauf eingehen, daß die Verschiedenheit der Unterscheidungsgrenzen für Annäherung und Entfernung beim Monokularsehen aller Wahrscheinlichkeit nach gar nicht besteht und der Schein ihrer Existenz nur auf gewisse Versuchsfehler zurückzuführen sein dürfte. Davon später.)

§ 8. Fassen wir die obige Darlegung kurz zusammen, so läßt sich folgendes sagen: um zu prüfen, was die bloße Konvergenz (sowohl im Sinne des Konvergenzaktes, als auch etwaiger peripherer Konvergenzempfindungen) für die Tiefenlokalisation leistet, dazu sind alle Versuche untauglich, bei denen beide Augen am Sehakt beteiligt sind, weil in diesem Falle immer das höchst empfindliche Reagens der Disparation zur Wirkung gelangt und somit der zu untersuchende Faktor

<sup>1</sup> A. a. O. pag. 160.

(die Konvergenz) prinzipiell nicht isoliert werden kann. Hingegen wird die verlangte Untersuchung ermöglicht durch monokulare Accommodationsversuche, insoweit eine physiologische Association zwischen Accommodation und Konvergenz besteht, was aber — sobald man nicht künstliche Lösungen absichtlich anstrebt — bis zu einem erheblichen und für die Untersuchung jedenfalls hinreichenden Grade der Fall ist.

Durch die vorstehenden Erörterungen habe ich die theoretische Bedeutung der folgenden Untersuchung klarstellen wollen, die sich zwar zunächst nur mit dem Einfluß der Akkommodation auf die Tiefenwahrnehmung beschäftigt, in ihren Konsequenzen aber notwendig über diese Frage hinausgreift. — Ich wende mich sogleich zu den Versuchen selbst.

§ 9. Wenn man den Einfluß der Accommodation auf die Tiefenwahrnehmung untersuchen will, so ist es selbstverständlich vor allem nötig, für den vollständigen Ausschluss aller anderen Lokalisationsmotive zu sorgen. Die Disparation fällt bei monokularen Versuchen ohnehin weg; aber auch alle sogenannten „empirischen“ Motive der Lokalisation müssen ferngehalten werden, wie z. B. Bekanntschaft mit der Größe des Objektes, Perspektive, Schattenverteilung u. dergl. m. Denn um die Lokalisation der primitiven Empfindung soll es sich handeln, nicht um die einer durch vorausgehende Erfahrungen modifizierten Empfindung.<sup>1</sup>

Um allen diesen empirischen Motiven zu entgehen, wurde folgende Versuchsanordnung in Anwendung gebracht, die in nebenstehender Figur 1 im Grundriß und in schematischer Weise dargestellt ist.

Auf der horizontalen Tafel  $T$  ist in  $a$  eine vertikale Achse angebracht, um welche die beiden der Platte aufliegenden Leisten  $b$  und  $b'$  drehbar sind. Mit diesen Leisten sind die 1 m langen und in Millimeter geteilten Maßstäbe  $m$  und  $m'$  im rechten Winkel fix verbunden. Die beiden parallelepipedischen Stücke  $p$  und  $p'$  lassen sich in einer Schlittenführung längs den Maßstäben verschieben und ist ihre jeweilige Stellung an der Millimeterteilung ablesbar. Die Stücke  $p$  und  $p'$  tragen

---

<sup>1</sup> Über die genauere Fassung dieser beiden Begriffe vergl. meine Abhandlung über „die Stabilität der Raumwerte auf der Netzhaut“ in dieser Zeitschrift Bd. V. S. 5 ff.

in einer Einkerbung je einen vertikalen Holzrahmen, deren Grundrisse in der Zeichnung durch  $S$  und  $S'$  dargestellt sind. Auf der dem Beobachter zugekehrten Seite sind diese Rahmen mit schwarzen, ganz ebenen und gleichmäßigen Kartons überklebt, welche auf der Medianseite etwas über die Rahmen hinausragen. Diese überragenden Kanten sind haarscharf geschnitten, so daß keinerlei Details (Papierfasern oder Abweichungen von

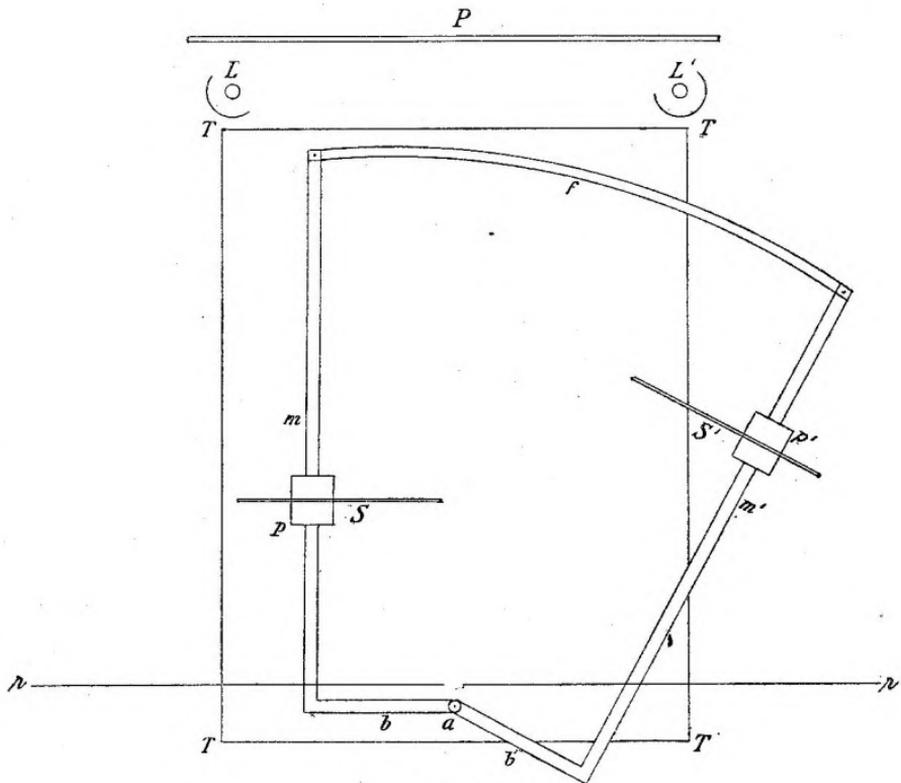


Fig. 1.

der geraden Linie) gesehen werden können.<sup>1</sup> Hinter dem Apparate steht die große weiße, mattgeschliffene Milchglasplatte  $P$ , welche von den beiden Lampen  $L$  und  $L'$  hell erleuchtet wird. Die Lampen sind von hohen halb offenen Eisenblechcylindern umgeben, die so orientiert werden, daß das Licht

<sup>1</sup> Die Kanten werden am besten mit schräg gehaltenem scharfen Skalpell geschnitten, so daß die Schnittfläche nicht senkrecht, sondern schräg gegen die große Kartonfläche steht, und zwar in dem Sinne, daß sie dem Beobachter abgewandt ist und dieser also eine möglichst vollkommen scharfe Kante sieht.

der Lampen nur auf die weisse Tafel fällt; im übrigen ist der Raum verdunkelt. Lotrecht über der Achse  $a$  ist ein kurzer (in der Figur nicht abgebildeter) Tubus angebracht, dessen vom Beobachter abgewandtes Ende durch ein oblonges Diaphragma von 1 cm Breite und 1,5 cm Höhe abgeschlossen ist. Der Tubus ist so orientiert, daß der mittlere Knotenpunkt des angelegten Auges vertikal über den Drehpunkt ( $a$ ) des ganzen Systems zu liegen kommt. Ausserdem ist der grosse vertikale Pappschirm  $rr$  aufgestellt, der an passender Stelle ein Loch trägt, durch welches der Tubus herausragt. Denken wir uns zunächst etwa das rechtsseitige Schienensystem samt Rahmen und Schirm weg und das linksseitige in der durch die Figur versinnlichten Stellung befindlich; die vertikale scharfe Kante des Kartonschirmes  $S$  liegt dann in der Symmetrieebene des ganzen Apparates. Blickt der Beobachter durch den Tubus, so wird das oblonge Diaphragma zur Hälfte von dem schwarzen Kartonschirm optisch ausgefüllt, zur anderen Hälfte von der hellbeleuchteten Milchglastafel. Der Beobachter sieht also rechts von der Symmetrieebene ein hellerleuchtetes oblonges Feld, dessen linke Seite dann als scharfe gerade Linie erscheint, wenn er eben für die Entfernung des Kartonschirmes accommodiert ist. Da dieser Schirm auf dem Mafsstabe verschiebbar ist, so kann man ihm vom jeweiligen Nahpunkt des Beobachters bis zu 1 m jeden beliebigen Abstand vom Auge geben und daher in diesem Intervalle jede beliebige Accommodation veranlassen. Die Gröfse des Diaphragmas ist so gewählt, daß der Beobachter keine weiteren Bestandteile des Apparates oder sonstige Objekte sehen kann. Bei der Kürze des Tubus erscheint der das Sehfeld abschließende (übrigens erheblich peripher gesehene) Rand des Diaphragmas natürlich infolge der Zerstreungskreise mehr oder weniger verschwommen.

Der Rahmen mit dem schwarzen Karton kann nun kontinuierlich verschoben werden, während die Kante vom Beobachter bei ganz feststehendem Kopfe fixiert wird; man kann aber auch die fix verbundenen Schienen  $b$  und  $m$  so um die Achse  $a$  drehen, daß der ganze Karton aus dem Sehfeld des Beobachters verschwindet; in dieser Lage kann man dem Kartonschirm eine beliebige Stellung auf der Schiene  $m$  geben und ihn dann rasch in das Gesichtsfeld hineinschieben.

Schliesslich ist noch die gleichzeitige Verwendungsweise beider Schirme zu erwähnen. Die beiden Schienen  $m$  und  $m'$  lassen sich durch den Bogen  $f$  verkoppeln, dessen Grösse so gewählt ist, dass die scharfen Kanten der beiden Schirme nie gleichzeitig im Gesichtsfeld erscheinen können, dass aber in dem Augenblick, in welchem die eine das Gesichtsfeld verlässt, die andere in dasselbe eintritt. Bei entsprechend rascher Verschiebung ist es auf diese Weise möglich, in äusserst kurzer Zeit an die Stelle der einen Kante die andere treten zu lassen, wobei natürlich jede in beliebige Entfernung vom Beobachter gebracht werden kann. Will man nur mit einer Kante experimentieren, so wird der Bogen  $f$  abgenommen und die Schiene, welche den anderen Schirm trägt, durch Drehung um die Achse  $a$  aus dem Gesichtsfeld gerückt (wie dies in der Figur angedeutet ist).

§ 10. Man sieht, dass bei dieser Versuchsanordnung alle Momente ausgeschlossen sind, welche auf die Tiefenlokalisation irgend welchen Einfluss nehmen können, mit Ausnahme der Accommodation und der mit ihr trotz Verschluss des anderen Auges associierten Konvergenz. Vor allem kommt das störende Moment der Bildvergrößerung und -verkleinerung bei Annäherung und Entfernung nicht zur Wirkung, da die als Objekt dienende Trennungslinie der Breite nach ohne Ausdehnung ist, der Länge nach aber stets das ganze durch das Diaphragma begrenzte, immer gleich grosse Gesichtsfeld durchzieht und irgend welche Merkpunkte an dieser Trennungslinie nicht gegeben sind.

Dieses Moment ist es, durch welches mir die beschriebene Versuchsanordnung gegenüber der von WUNDT benutzten einen wesentlichen Vorzug zu haben scheint.

WUNDT blickt durch eine innen geschwärzte Röhre nach einem  $\frac{1}{2}$  mm dicken schwarzen Faden, der sich von einem gleichmässig beleuchteten Hintergrund abhebt und beliebig verstellt werden kann. Bei einer Versuchsreihe wendet die Versuchsperson während der Verstellung des Fadens das Auge ab, bei einer anderen pendelt der Faden in der Medianebene, wobei der Beobachter den Faden fortwährend zu fixieren trachtet. In beiden Fällen muss die Vergrößerung und Verkleinerung des Bildes (wenn sie hinreichend gross ist) notwendig einen Anhaltspunkt für die Tiefenlokali-

sation geben. Indem ich ähnliche Versuche mit Anwendung eines feinen, straff gespannten Drahtes<sup>1</sup> anstellte, bin ich zu ganz anderen Resultaten gelangt als sie die später zu beschreibenden Versuche mit den Schirmkanten ergaben; in Fällen, in denen die Kantenversuche gar keine Wahrnehmung einer veränderten Tiefenlage ergaben, konnte eine solche bei Anwendung des Drahtes schon mit Sicherheit konstatiert werden.<sup>2</sup> Dies kann nur an der Gröfsenänderung des Netzhautbildes gelegen sein.

§ 11. Da WUNDT auf dieses Moment zu sprechen kommt, sagt er folgendes:

„Immer jedoch ist innerhalb der Accommodationsgrenzen die scheinbare Gröfse auf das Urteil über die relative Lage zweier Gegenstände von untergeordnetem Einflusse; bei weitem überwiegend ist hier der Einfluss der Accommodationsbewegungen selber.“ Und nach einigen Bemerkungen über das „Accommodationsgefühl“ fährt er zum Beweise für die eben citierte Behauptung fort wie folgt: „Eine Annäherung des Gegenstandes wird nämlich schon wahrgenommen, wenn die scheinbare Gröfse desselben sich noch gar nicht merklich verändert hat, so dafs also die Accommodationsbewegung das einzige Moment ist, auf das jene Wahrnehmung möglicher Weise sich gründen kann.“<sup>3</sup>

Dieses Argument scheint mir aus folgendem Grunde unzutreffend: wenn sich das fixierte Objekt (hier der vertikale Faden) nähert, so wird doch jedenfalls das Netzhautbild gröfser; gerade aber, wenn diese Zunahme des Netzhautbildes nicht als Zunahme der scheinbaren Gröfse des Gegenstandes empfunden wird, gerade dann muß sie als Abnahme der Entfernung empfunden werden. Es scheint, dafs WUNDT hier die

<sup>1</sup> Dies ist immerhin noch eine etwas bessere Methode als die WUNDTsche. Denn bei den Fäden kommt nebst der Veränderung der Bildgröfse noch der Umstand hinzu, dafs sie wohl nie ganz ohne unterscheidbare Details (abstehende Fasern, ungleichmäfsige Dicke u. dergl.) sind, die durch ihr Deutlich- oder Undeutlichwerden, sowie insbesondere durch die Änderung ihrer scheinbaren Höhe (vgl. unten S. 117) weitere Anhaltspunkte für die Lokalisation liefern.

<sup>2</sup> Ob die Dicke des Fadens oder Drahtes von vornherein bekannt ist oder nicht, thut nichts zur Sache; es genügt ja, wenn es derselbe Faden (Draht) ist, der in verschiedenen Entfernungen beobachtet wird.

<sup>3</sup> *Beitr. z. Theor. d. Sinneswahrn.* 3. Artikel, a. a. O. pag. 325—26.

Begriffe „Größe des Netzhautbildes“ und „scheinbare Größe des Gegenstandes“ miteinander verwechselt, bezw. daß sich ihm an Stelle des ersteren der letztere einschleibt, ohne daß er sich davon genügend Rechenschaft giebt. Wenn sich das Netzhautbild nicht vergrößerte (was man durch entsprechende Verkleinerung des Objektes beim Näherschieben erreichen könnte, s. u.) und dennoch das Näherrücken des Objektes wahrgenommen würde, dann wäre der Schluß zuzugeben, daß dieses Näherrücken in irgend einer Weise unter dem Einfluß der Accommodation wahrgenommen sein muß. Aber aus der Tatsache, daß die scheinbare Größe sich nicht merklich verändert, muß die der WUNDTschen Folgerung genau entgegengesetzte gezogen werden, daß nämlich die Wahrnehmung des Näherrückens ganz oder mindestens dem größten Teile nach auf die Vergrößerung des Netzhautbildes zurückzuführen ist und somit die Accommodationsbewegung keineswegs „das einzige Moment ist, auf das jene Wahrnehmung möglicher Weise sich gründen kann.“

Anmerkung. Man könnte versucht sein, dieser Widerlegung in folgender Weise zu begegnen und somit WUNDTs Standpunkt aufrecht zu erhalten:

Unter „scheinbarer Größe“, könnte man sagen, kann zweierlei verstanden werden: einmal die Größe des Sehdinges, ein anderes Mal die Größe des Netzhautbildes, bezw. des Gesichtswinkels (wie wenn ich sage: „Die scheinbare Größe des Vollmondes beträgt nahezu  $\frac{1}{2}$  Grad“). Die beiden Bedeutungen fallen nicht zusammen; auch ist die scheinbare Größe im Sinne der Größe des Sehdinges nicht allein abhängig von der scheinbaren Größe im Sinne der Größe des Netzhautbildes (oder Gesichtswinkels). In dem obigen Widerlegungsversuche — würde WUNDTs Verteidiger sagen — wird ohne weiteres angenommen, WUNDT habe unter scheinbarer Größe die Größe des Sehdinges verstanden; in diesem Falle wäre es freilich zuzugestehen, daß WUNDT aus dem Umstande, daß die scheinbare Größe sich noch nicht merklich geändert hat, nicht schließen durfte: also war es nur die Accommodation, welche uns über die Entfernungsänderung in Kenntnis gesetzt hat. Aber WUNDT hat unter scheinbarer Größe gar nicht die Größe des Sehdinges gemeint, sondern (in Übereinstimmung mit dem Sprachgebrauche der Physiker und Astronomen) die Größe des Gesichtswinkels, bezw. des Netzhautbildes. Wenn aber dies, dann bleibt sein (WUNDTs) Argument in Kraft: hat nämlich der Gesichtswinkel (bezw. das Netzhautbild) nur um so wenig zugenommen, daß die Zunahme untermerklich bleiben muß, dann kann sie weder als Zunahme der Größe, noch als Abnahme der Entfernung des Sehdinges gedeutet werden. Wenn nun trotz alledem eine Näherung sicher erkannt wurde, so hat WUNDT Recht, wenn er diese Wahrnehmung

lediglich auf Rechnung des veränderten Accommodationszustandes setzt.

Es kommt also alles darauf an, zu entscheiden, wie WUNDT den Ausdruck „scheinbare Gröfse“ in seiner Argumentation verstanden hat

Ich hoffe aber zeigen zu können, daß WUNDT mit dem Terminus „scheinbare Gröfse“ hier nur die Gröfse des Sehdinges und nicht die des Gesichtswinkels, bezw. Netzhautbildes gemeint haben konnte. In mehrfacher Weise dürfte dies klar zu machen sein.

Zuvörderst will ich von der obigen Erörterung über das Erkennen von Distanzänderungen innerhalb des Accommodationsgebietes einen Augenblick absehen und zunächst diejenige Stelle in WUNDTs Abhandlung in Betracht ziehen, in welcher er von der Tiefenlokalisation jenseits des Fernpunktes spricht (p. 324—25); der Sinn des Ausdruckes „scheinbare Gröfse“ wird sich schon aus dieser Stelle unzweifelhaft klarstellen lassen. WUNDT sagt: „Hängt man einen Faden jenseits des Fernpunktes auf und verschiebt denselben um verschiedene Entfernungen, so wird diese Verschiebung erst wahrgenommen, sobald dadurch der scheinbare Durchmesser des Fadens sich um ein Merkliches geändert hat.“ Das Netzhautbild muß sich also nicht überhaupt, sondern um ein Merkliches ändern. Aber in welcher Beziehung merklich? Merklich kann die Bildveränderung werden entweder indem man den Faden näher (weiter) lokalisiert, ihn aber für gleich dick hält (wobei also die Gröfse des Sehdinges sich nicht ändert), oder indem man ihn bei gleicher scheinbarer Entfernung für dicker (dünner) hält, oder schließlich indem er zugleich näher und dicker (ferner und dünner) erscheint. Da es sich bei WUNDT darum handelt, daß der Faden näher (ferner) lokalisiert wird, so bleiben von den obigen drei Fällen nur zwei übrig: der Faden scheint entweder gleich dick zu bleiben, sich aber zu nähern (entfernen), oder er scheint zugleich mit der Näherung dicker zu werden (mit der Entfernung dünner). Die Gröfsenänderung des Netzhautbildes muß in beiden Fällen die Merklichkeitsgrenze überschritten haben, ob sie sich nun in der Empfindung durch gleichzeitige Gröfsen- und Entfernungsänderung äußert oder bloß durch Entfernungsänderung, d. h. ob die psychische Wirkung der Änderung der Netzhautbildgröfse sozusagen aufgeteilt wird in die Gröfse und Entfernung des Sehdinges, oder ob sie nur in der Entfernung desselben zu Tage tritt. Wenn also überhaupt eine Änderung der scheinbaren Entfernung eintritt, so kann (jenseits des Fernpunktes) nur die Gröfsenänderung des Netzhautbildes die Ursache sein, und man würde sich selbst widersprechen, wenn man sagte: Das Sehding ändert seine Entfernung, die Gröfsenänderung des Netzhautbildes ist aber zu gering, um diese Entfernungsänderung zu erklären. Wenn also (jenseits des Fernpunktes) eine Entfernungsänderung erkannt wird, so kann die Änderung des Gesichtswinkels gar nicht untermerklich, d. h. hier psychisch wirkungslos gewesen sein, und es bedarf keiner weiteren experimentellen Untersuchung, ob doch die Winkeländerung eine hinreichend grofse war.

Innerhalb des Accommodationsgebietes wird nach WUNDT die Entfernungsänderung in verschiedener Weise erkannt, je nachdem es sich um Näherung oder Entfernung handelt. Daß für das Erkennen der An-

näherung das „Accommodationsgefühl“ maßgebend sei, lasse sich „sogar objektiv nachweisen“. Die Annäherung wird nach WUNDT schon wahrgenommen, wenn die scheinbare Größe des Gegenstandes „sich noch gar nicht merklich verändert hat“. „Anders,“ sagt WUNDT, „ist dies mit der Entfernung des Gegenstandes. Diese wird erst bemerkt, wenn der Gegenstand durch Weiterrücken eine sichtbare Verkleinerung seines Durchmessers erfahren hat.“ Beim Näherrücken wird also die Entfernungsveränderung schon bemerkt, ehe noch eine „sichtbare Vergrößerung des Durchmessers“ stattgefunden hat. Damit ist aber (ich verweise auf die obige Erörterung) nicht gesagt, daß die Vergrößerung des Netzhautbildes gar keinen Einfluß hatte. Somit bleibt die im Texte erhobene Einwendung gegen die Deutung, welche WUNDT seinen Versuchen zu teil werden läßt, in Kraft; es geht nicht an, den Standpunkt WUNDTs dadurch zu halten, daß man annimmt, er habe bei dem Worte „scheinbare Größe“ nur an die Größe des Netzhautbildes, bezw. Gesichtswinkels gedacht.

Auch eine andere Stelle läßt sich noch zum Beweise dessen beibringen. WUNDT sagt pag. 334: „Entfernt sich also von zwei Objekten das eine um eine so geringe Größe, daß sein scheinbarer Durchmesser sich nicht verändert etc. etc.“ Hier muß doch der „scheinbare Durchmesser“ soviel sein wie der Durchmesser des Sehdinges; denn der Gesichtswinkel oder die Größe des Netzhautbildes ändert sich selbstverständlich bei der geringsten Entfernungsänderung des Gegenstandes.

WUNDTs Tabelle der eben erkennbaren Entfernungsänderungen (pag. 330) ergibt, wenn man die Gesichtswinkel daraus berechnet, stellenweise so kleine Differenzen, daß es allerdings schwer wird, denselben bereits eine Wirkung auf die Größe der scheinbaren Entfernung zuzuschreiben (ergeben sich doch neben Differenzen von 20 bis 30 Winkelsekunden und darüber auch solche von bloß 8 bis 10 Sekunden), namentlich wenn der Vergleich kein simultaner, sondern ein successiver, durch kleine Pausen getrennter ist. Da aber bei Ausschluß jeder Bildgrößenänderung (z. B. bei Anwendung mathematischer Linien), wie wir sehen werden, Entfernungsunterschiede vom Ausmaße der WUNDTschen keineswegs erkannt werden und somit die Accommodation keineswegs die ihr von WUNDT zugeschriebene Rolle spielen kann, so bleiben zur Erklärung der Resultate, wie sie WUNDT erhalten hat, nur zwei Wege: entweder waren gewisse, die Lokalisation bestimmende Nebenumstände vorhanden, die WUNDT vielleicht übersehen hat (z. B. Markpunkte, welche durch Fasern oder sonstige Unregelmäßigkeiten in den Fäden gegeben waren und durch ihre scheinbare Höhe über der Blickebene einen Anhaltspunkt zur Lokalisation boten, s. o.) — oder die Versuche waren ganz frei von derartigen Fehlern: dann aber bleibt nichts übrig, als anzunehmen, daß selbst jene sehr kleinen Gesichtswinkeldifferenzen doch schon hinreichend waren, um unser Urteil über die scheinbare Entfernung zu bestimmen.

Es ist mir keine Untersuchung über die kleinsten, eben merklichen Schwinkelunterschiede bekannt. Bei der Kleinheit der absoluten Werte, um die es sich in unserem Falle handelt, müßte eine derartige Untersuchung, wenn anders sie über die Deutung der WUNDTschen Versuche

entscheiden soll, genau unter denselben Umständen gemacht werden wie die, welche WUNDT eingeführt hat, und über die wir aus der citierten Arbeit dieses Forschers nicht hinreichend unterrichtet werden. Die Beschaffenheit des Fadens, die Beleuchtungsverhältnisse, ein eventuell vorhandener (wenn auch geringer) Astigmatismus des beobachtenden Auges — diese und noch andere Umstände können die Werte der eben merklichen Sehwinkelunterschiede hinreichend beeinflussen, um, wenn sie etwas geändert werden, andere Resultate zu liefern als die von WUNDT angegebenen.

Das scheint mir aber erwähnenswert, dafs der kleinste zum Erkennen einer Ortsverschiedenheit erforderliche Gesichtswinkel bisher stets für gröfser gehalten wurde, als er es in der That ist. Als Minimalwert wird gewöhnlich 50 Sekunden bis 1 Minute angegeben. Wenn der kleinste Gesichtswinkel diesen Wert hat, dann erscheint es freilich unglauwürdig, dafs ein Gesichtswinkel zu wuchs von 10 bis 20 Sekunden schon merklich sein sollte. Indessen hat schon HELMHOLTZ bemerkt, dafs in den bisherigen Versuchen, auf welchen diese Resultate beruhen, eine Fehlerquelle nicht ausgeschlossen sei, nämlich die Irradiation. Jenes Minimum von 50" giebt daher kein Mafs für die Beschränktheit des Ortsinnes der Netzhaut. In neuester Zeit hat ERNST ANTON WÜLFING eine Arbeit „Über den kleinsten Gesichtswinkel“ (*Zeitschr. für Biologie*, XXIX. Bd., Neue Folge XI. Bd., pag. 199 ff.) veröffentlicht, in welcher er jene Fehlerquelle zu vermeiden sucht. Ohne hier weiter auf WÜLFINGS Untersuchungsmethode einzugehen, will ich nur erwähnen, dafs der von ihm erzielte Minimalwert 10 bis 12 Winkelsekunden beträgt, also etwa den fünften Teil des gemeiniglich angenommenen Wertes. WÜLFING hält es überdies für wahrscheinlich, dafs bei Einführung noch günstigerer Beleuchtungsverhältnisse, als der von ihm angewandten, noch kleinere Werte sich ergeben würden, als die von 10—12 Winkelsekunden.

Für unsere Deutung der WUNDTschen Versuche sind WÜLFINGS Ergebnisse nicht unbedingt beweisend. Abgesehen nämlich von dem Umstande, dafs es sich bei WÜLFING um simultane, bei den WUNDTschen Versuchen aber um successive Vergleiche handelt (wobei natürlich die Schnelligkeit der Succession sehr in Betracht kommt), hat sich WÜLFING — wie wir schon oben erwähnten — nicht die Aufgabe gestellt, zu untersuchen, um wieviel ein gegebener Gesichtswinkel wachsen oder abnehmen müsse, wenn der Unterschied eben erkennbar sein soll; vielmehr hat er den geringsten noch merklichen Lageunterschied zweier Ortsdaten zu ermitteln gesucht. Trotz alledem stehen seine Ergebnisse zu der Frage, welche uns hier beschäftigt, wie erwähnt, in Beziehung. Wäre nämlich, wie man gemeiniglich angenommen hat, der Lageunterschied zweier Punkte erst dann eben erkennbar, wenn er einem Gesichtswinkel von 50—60" entspricht, dann sollte man meinen, der Zuwuchs (die Abnahme) zu einer bereits vorhandenen Distanz müfste mindestens jenen Wert von 50—60" haben, um als Zuwuchs (Abnahme) erkennbar zu sein. Der sozusagen absolut kleinste Gesichtswinkel kann ja als Zuwuchs zu dem Werte 0 aufgefaßt werden; erhält dieser Wert aber eine endliche Gröfse (bei WUNDT bis zu 4 Winkelminuten), dann müfste der eben merkliche

Zuwuchs doch mindestens ebenso groß sein, als wenn der Winkel, zu welchem er hinzutritt, gleich 0 ist. Unter Voraussetzung des gewöhnlich als Minimum angenommenen Winkels von 50—60" wäre es aber unglaublich, daß Zuwüchse von der Größe der WUNDTschen irgend merklich sein sollten. Der von WÜLFING gefundene Minimalwert läßt es hingegen nicht als widersprechend erscheinen, daß Zuwüchse, wie sie in WUNDTs Versuchen vorkommen, als Zuwüchse erkannt werden. Hierin liegt die Bedeutung, welche WÜLFINGs Resultate für unsere Deutung der WUNDTschen Versuche besitzen.

(Beiläufig gesagt, ist der Gedanke mindestens nicht von vornherein abzuweisen, daß vielleicht für die Zu- und Abnahme des Gesichtswinkels bei Ausschluß aller anderen Lokalisationsmotive die Änderung der scheinbaren Entfernung ein feineres Reagens ist, als die Änderung der Sehgröße; doch soll dies nur als Vermutung ausgesprochen werden; experimentelle Untersuchungen über diese Frage liegen nicht vor.)

So dürfte sich denn doch die Verwendung von Objekten, die bei Näherung und Entfernung eine Veränderung der Bildgröße zulassen, als ein für die vorliegende Frage sehr bedeutender Versuchsfehler herausstellen.

§ 12. Beiläufig muß ich noch auf einen anderen Fehler zu sprechen kommen, der sich ergibt, wenn man nicht für völligen Ausschluß aller unterscheidbaren Details Sorge trägt, wie sich diese etwa bei Fäden, unscharf geschnittenen Kanten u. dergl. merkbar machen. Hier sind besonders diejenigen Versuche gemeint, in denen das Objekt während der Bewegung fixiert wird. Eine einzelne Woll- oder Papierfaser z. B., die nicht gerade in der primären Blickebene liegt, ändert während der Bewegung des Objektes auch ihre scheinbare Höhe. Liegt ein solcher Merkpunkt z. B. über der Blickebene, so steigt er bei Annäherung des Objektes scheinbar in die Höhe und sinkt bei Entfernung desselben. Infolge der tausendfältigen Erfahrung, die jedermann über derartige Phänomene im Leben macht, kann sich mit derartigen Höhenbewegungen sofort die Vorstellung einer Annäherung oder Entfernung associieren; die Gefahr voreiliger Schlüsse ist also auch hier gegeben.

Weiter ist darauf zu achten, daß alle Bewegungen des Kopfes während der Beobachtung vermieden werden, was vor allem durch unmittelbares Anlegen der Umgebung des Auges an die Ränder des Tubus zu erreichen ist. Bewegungen des Kopfes bedingen nämlich Schein-Verschiebungen der fixierten Kante relativ zum Rande des Diaphragmas, und diese Ver-

schiebungen werden gröfser, wenn die Kante ferner liegt. Auch dieser Umstand kann zum Anhaltspunkt für die Beurteilung der verschiedenen Tiefenlage des fixierten Objektes werden.

Nach Erörterung dieser wesentlichsten Fehlerquellen teile ich sogleich die erste Klasse der mit dem oben beschriebenen Apparate angestellten Versuche mit.

§ 13. Bei dieser ersten Klasse von Versuchen kommt es darauf an, das Objekt während seiner Bewegung in der Tiefendimension zu fixieren und der Bewegung mit der Accommodation zu folgen, wobei der Beobachter selbstverständlich weder weifs, wann die Bewegung beginnt und wann sie schliesst, noch auch in welchem Sinne sie erfolgt, ob zu ihm hin oder von ihm weg. Der Beobachter wird aufgefordert, Beginn, Schluß und Richtung der Bewegung anzugeben. Hierbei dürfen die Grenzen der Accommodationsbreite des jeweiligen Beobachters natürlich nicht überschritten werden. Ja nicht nur dies; man darf auch nicht bis zum Nahpunkt herangehen, weil sich solche extreme Grade der Accommodation (und bei Emmetropen auch die damit parallel gehenden extremen Grade der Konvergenz) durch lästige Empfindungen verraten und so einen Faktor in die Untersuchung sich einmischen lassen, welcher der Frage fremd bleiben muß. Weiter hat man dafür zu sorgen, daß die Bewegung mit einer Geschwindigkeit erfolgt, die es dem Beobachter eben möglich macht, bequem mit der Accommodation zu folgen.

An dem S. 108 ff. beschriebenen Apparate wird also die Koppel  $f$  entfernt und der eine der beiden Schirme aus dem Gesichtsfeld gerückt, während der andere Schirm (bezw. die Schiene, auf der er sich bewegt) so gestellt wird, daß sich die scharfe Kante in der Symmetrieebene des Apparates bewegen kann. Die Ausgangsstellung ist dem Beobachter natürlich unbekannt.

§ 14. Den Moment des Beginnes und Schlusses der Bewegung auch nur einigermaßen richtig anzugeben, war keiner der fünf von mir untersuchten Personen möglich. Der Schirm war gewöhnlich längst (oft 20 cm und mehr) in Bewegung, ehe der Beobachter die entsprechende Angabe machte — sofern dies überhaupt geschah. In manchen Fällen wurde übrigens auch bei ruhender Kante Bewegung angegeben.

Was die Angaben über die Bewegungsrichtung anlangt,

so fielen dieselben bei den verschiedenen Beobachtern verschieden aus.

Die Herren stud. med. A. SPRINGER und J. STRANSKY (beide Emmetropen) machen nahezu eben so viel falsche Angaben wie richtige, wobei die Verschiebung der Kante in dem Intervall zwischen 220 mm bis 1000 mm erfolgt. (Aus bereits dargelegten Gründen habe ich es vermieden, bis zum Nahpunkt zu gehen.) Eine Verschiedenheit in der Verteilung der richtigen und falschen Angaben, je nachdem die Kante genähert oder entfernt wurde, konnte ich nicht konstatieren. Herr Docent Dr. E. STEINACH, Assistent am hiesigen Physiol. Institute, machte unter 16 Beobachtungen 9 richtige Angaben und 5 falsche, in 2 Fällen ist er zweifelhaft. Ich bemerke hier nur, daß derselbe nach beendigter Bewegung der Aufforderung, sich zu äußern, nie sofort nachkommt, sondern regelmäßig längere Zeit verstreichen läßt, während welcher er unausgesetzt auf die nunmehr ruhende Kante hinsieht, sich also die Antwort vorher wohl überlegt und ohne Zweifel über den abgelaufenen Vorgang reflektiert.

Die Angaben der folgenden zwei Beobachter, des Herrn Dr. H. E. HERING, Assistenten am hiesigen Institute für experimentelle Pathologie, und des Herrn Dr. H. PERELES, ersten Assistenten an der Deutschen Augenklinik, verdienen deshalb besonderes Interesse, weil beide Herren sich unaufgefordert über die Art und Weise äußern, auf die sie zu ihren einzelnen Angaben geführt werden und namentlich darauf Gewicht legen, ob ihnen die Entfernungsänderung zu sinnlicher Anschaulichkeit kommt, oder ob sie sie irgendwie erschliessen oder associieren, mit anderen Worten, ob sie die Änderung sehen oder ob sie nur von ihr wissen.

Unter 20 Beobachtungen, bei denen ich in dem verfügbaren Intervall Entfernungsänderungen vorgenommen habe, deren kleinste einer Dioptrien-Differenz von 0,5 und deren größte einer solchen von 4 entsprach, habe ich von Herrn Dr. PERELES 12 bestimmte Angaben erlangen können, während bei den übrigen 8 keine Distanzänderung angegeben wurde. Unter jenen 12 Angaben waren nur 4 richtige, und bei eben diesen 4 Angaben machte der Beobachter (ohne daß ich danach gefragt hätte) den Zusatz, er „erschliesse“ hier die Bewegung, könne sie aber nicht im eigentlichen Sinne „sehen“.

Von Herrn Dr. H. E. HERING teile ich die Ergebnisse aus einer Reihe von 24 Beobachtungen mit, die derselbe angestellt hat, nachdem er durch 14 Tage fast täglich mindestens 1 Stunde solche und ähnliche Accommodationsversuche gemacht hatte, und daher eine erhebliche Übung hätte erlangen müssen, wenn anders bei diesen Versuchen von einer Übung überhaupt geredet werden kann.

Die untenstehende Tabelle, die ich nur als ein Beispiel aus einer größeren Versuchsreihe herausgreife, mag dem Leser ein Bild von der Leistungsfähigkeit der Accommodationsänderung für die Tiefenwahrnehmung geben. (Die Mitteilung der ganzen Serie von Versuchen würde an diesem Bilde nichts ändern.)

Grenzen der Verschiebung  
in Millimetern, bezogen auf  
den mittleren Knotenpunkt.

Angaben des Beobachters Herrn Dr. H. E. HERING.

470—370	Unbestimmt, vielleicht weiter.
370—470	Unbestimmt.
370—270	Vielleicht näher.
270—370	Unbestimmt.
470—320	Keine sichtbare Änderung.
320—470	„ „ „
220—370	„ „ „
370—220	„ „ „
570—370	„ „ „
370—570	„ „ „ ; „erschlossen“: näher.
670—370	„ „ „
370—220	„ „ „ ; „erschlossen“: näher.
670—870	Vielleicht näher.
870—370	„ „ „
470—220	Keine sichtbare Änderung; „erschlossen“: näher?
220—470	„ „ „ „erschlossen“: ferner?
370—190	Unbestimmt, vielleicht näher?
190—770	„ „ „
370—270	Keine Änderung.
270—220	„ „
220—370	„ „
370—570	„ „
570—370	„ „
370—220	„ „

Wie man sieht, war der Beobachter in den meisten Fällen überhaupt nicht im stande, Bewegung zu sehen, mit Bestimmtheit nicht ein einziges Mal. Die ab und zu vorkommende Be-

merkung „erschlossen: näher (ferner)“ will sagen, daß der Beobachter den Ortswechsel zwar nicht gesehen, wohl aber die Überzeugung von einem solchen erlangt hat. Auf welche Weise dieselbe zu stande kommt, darauf will ich später eingehen, wie denn überhaupt die Deutung der bisherigen Versuche erst nach Mitteilung der zweiten Klasse von Beobachtungen versucht werden soll. Daß übrigens auch diese „erschlossenen“ Urteile nicht immer richtig sind, dafür giebt die Tabelle Zeugnis.

§ 15. Einiger Nebenumstände in den obigen Versuchsreihen möchte ich noch Erwähnung thun, weil sie für den Charakter dieser Versuche und für ihre Interpretation nicht ohne Bedeutung sind.

Es ist nämlich interessant zu sehen, von welch' entscheidendem Einfluß auf die Beurteilung von Tiefenänderungen alle Erfahrungsmotive sind, mögen sie auch in höchst indirekter Beziehung zur Tiefenanschauung stehen und zunächst gar nicht den Anschein von Fehlerquellen erwecken.

Ich habe schon erwähnt, wie mächtig wir von der Größenänderung des Netzhautbildes in unserem Urteil beeinflusst werden (weshalb mir die Anwendung von Fäden unbrauchbar erschien). Der folgende Versuch zeigt dies besonders schlagend. Ich habe bei parallel gestellten Schienen ( $m$  und  $m'$ ) des beschriebenen Apparates einen Rahmen mit Karton quer über die Schienen so gestellt, daß er von beiden Schlitten getragen und durch die Symmetrieebene des Apparates halbiert wurde. Der Karton verdeckte somit die Aussicht auf die Milchglas-tafel. In der Mittellinie des Kartons war in Augenhöhe ein AUBERTSches Diaphragma angebracht. Bei einer gewissen Öffnung desselben sieht der Beobachter ein quadratisches weißes Feld, ein Stück der hinten stehenden Milchglas-tafel. Er weiß nicht, daß er es mit einer Öffnung zu thun hat, die der Untersuchende kleiner und größer machen kann. Läßt man nun den Kartonschirm fest stehen und verkleinert bzw. vergrößert das Diaphragma, so erhält der Beobachter den deutlichen Eindruck der Entfernung bzw. Annäherung, obwohl die Accommodation (und Konvergenz) sich durchaus nicht ändert. Ja, wenn man den Schirm kontinuierlich näher rückt und zugleich das Diaphragma verkleinert, aber nicht proportional der Näherung, sondern erheblich stärker, so daß also der

Gesichtswinkel kleiner und kleiner wird, so entsteht trotz größerer Anspannung der Accommodation dennoch der Eindruck des Fernerrückens. Und umgekehrt kann man es durch überproportionale Vergrößerung des Diaphragmas leicht dahin bringen, daß der Eindruck der Näherung entsteht, trotzdem der Schirm in Wirklichkeit entfernt und also die Accommodation entspannt wird. Man sieht daraus, daß, selbst wenn die Accommodation für die Wahrnehmung der Tiefenänderung von Einfluß sein sollte, sie jedenfalls ein Moment ist, welches durch das empirische Motiv der Bildgrößenänderung stets besiegt wird.

Auf den Einfluß, den unterscheidbare Details durch die Veränderung ihrer scheinbaren Höhenlage auf unser Urteil ausüben, wurde ebenfalls bereits hingewiesen; desgleichen auf die parallaktischen Verschiebungen bei lateralen Bewegungen des Kopfes.

Aber noch viel ferner liegende Momente wurden in unseren Versuchen gelegentlich als Anhaltspunkte verwendet:

Der Schlitten, in welchen der Schirm samt Karton eingefügt ist, macht bei seiner Verschiebung auf der Holztafel ein Geräusch, das natürlich an Stärke zu- bzw. abnimmt, je nachdem er genähert oder entfernt wird. Dieses Geräusch wurde nun zum Anhaltspunkt für das Urteil über Annäherung oder Entfernung, so daß ich anfangs manchmal Versuchsreihen erhielt, in denen nahezu gar kein Fehler vorkam. Bei verstopften Ohren fielen die Resultate ganz anders aus. Ich habe folgenden Gegenversuch gemacht: Der Schirm, dessen Kante fixiert werden sollte, blieb ruhig stehen; der Schlitten des anderen, gar nicht im Gesichtsfelde gelegenen Schirmes wurde aber verschoben, nur um die bekannten Geräusche zu erzeugen; in der That fiel das Urteil entsprechend dem stärker oder schwächer werdenden Geräusch aus. Aus diesem Grunde habe ich bei den mitgetheilten Versuchen entweder die Ohren des Beobachters verschlossen, oder aber vermittels des zweiten Schlittens fortwährende Geräusche erzeugt, die schließlic den Beobachter veranlassen, sich doch nicht mehr an dieses Kriterium zu halten.

Wie sehr das Urteil in den beschriebenen Versuchen von ganz accessorischen Momenten abhängig ist, dafür mag ein Zwischenfall Zeugnis geben, den ich nicht unerwähnt lassen will.

Herr stud. med. STRANSKY sollte in einem Versuche der vorerwähnten Reihe angeben, in welcher Richtung die Bewegung der Kante erfolge. Ich rückte dieselbe allmählich in die Ferne, und als ich sie bereits über einen halben Meter hinausgerückt hatte, fragte ich den Beobachter, ob er noch im stande sei, für das Objekt zu accommodieren, worauf ich die Antwort erhielt, es sei „wohl noch möglich, aber mit Schwierigkeiten verbunden.“ Während der weiteren Entfernung der Kante wiederholte ich die Frage mehrmals; als die Kante eine Entfernung von 700 mm erreicht hatte, meinte der Beobachter, es sei bereits sehr schwierig, mit der Accommodation zu folgen, er habe das deutliche Gefühl starker Anstrengung. Auf die Frage, für wie groß er die Entfernung beiläufig halte, bekam ich die Antwort: „höchstens 8—10 cm“. Natürlich war das Erstaunen des Beobachters nicht gering, als ich ihn dann hinter den deckenden Schirm führte und ihn die wirkliche Anordnung sehen liefs.

Offenbar war Herr STRANSKY durch meine Fragen irreführt worden. „Ob er noch gut accommodieren könne,“ diese Frage konnte für ihn, den Emmetropen, doch nur eine vernünftige Veranlassung darin haben, daß man ihm eine immer stärkere Anspannung der Accommodation zumutete; und dieser Umstand war hinreichend, in ihm die Überzeugung zu erwecken, daß das fixierte Objekt in fortwährender Näherung begriffen sei. Es ist jedenfalls interessant, daß hier ein Moment ausschlaggebend wird, welches mit der sinnlichen Empfindung gar nichts zu thun hat. Beim Binokularsehen würde man eine derartige Verführung zum Irrtum umsonst versuchen. Aber noch ein Moment scheint mir hier beachtenswert. Wenn Herr STRANSKY angiebt, er habe das „Gefühl der Anstrengung“, während er thatsächlich die Accommodation immer mehr entspannt, so braucht man, glaube ich, nicht gleich daran zu denken, daß er sich ein solches Gefühl blofs eingebildet habe. Das längere Festhalten der Blickrichtung ist in der That ermüdend, selbst wenn das Objekt sich nicht nähert, sondern stehen bleibt oder sich langsam entfernt. Dazu kommt natürlich noch die psychische Ermüdung, die ja notwendig eintritt, wenn man einem gewissen Ziele (hier dem fortwährenden Scharfsehen) die gespannteste Aufmerksamkeit zuwendet. Nur mag der vorerwähnte Fall zeigen, daß diese „Anstrengungsgefühle“

wenig vertrauenerweckende Anhaltspunkte für die Tiefenlokalisation sind.

Die Fälle von Täuschung durch Geräusche oder durch irreführende Fragen erwähne ich wegen ihrer symptomatischen Bedeutung. Ein anschauliches Empfindungsdatum (wie etwa die Tiefenlage auf Grund von Disparationen der Netzhautstellen) würde sich durch derartige Faktoren nicht überwinden lassen. Ja selbst wenn sich Raumempfindungen blofs associativ an Muskelgefühle anschließen, müßten wir eine solche Association schon wegen ihrer enormen Häufigkeit (sie würde ja auftreten, so oft wir im Leben die Accommodation wechseln) notwendig für so fest halten, daß an eine Überwindung durch eine unpassende Frage, ein störendes Geräusch u. dergl. gar nicht zu denken wäre.

§ 16. Zu den bisher beschriebenen Versuchen muß eine Reihe anderer ergänzend hinzutreten, wenn zur Entscheidung unserer Frage das genügende Thatsachenmaterial vorhanden sein soll. Was leistet die Accommodation für die Tiefenwahrnehmung, wenn der zu fixierende Gegenstand seine Entfernung so rasch ändert, daß wir nicht im stande sind, mit der optischen Anpassung zu folgen? Der Fall ist gegeben, wenn wir das Objekt rascher verschieben, als die Änderung der Accommodation erfolgt, aber natürlich auch dann, wenn wir zwei Objekte in verschiedener Entfernung benutzen und das zweite in dem Augenblick erscheinen lassen, in welchem das erste verschwindet. Man könnte denselben Zweck damit zu erreichen meinen, daß man den Beobachtenden gleichzeitig zwei verschieden entfernte Objekte (etwa die zwei Kanten in unserem Apparate) sehen und ihn die relative Entfernung wenigstens der Richtung nach beurteilen läßt. Indessen wäre diese Anordnung des Versuches nicht fehlerfrei. Abgesehen nämlich davon, daß hier ein mehrmaliges Übergehen der Accommodation vom einen zum anderen Objekt ermöglicht wäre, was aus später zu erwähnenden Gründen besser ausgeschlossen bleibt, kann noch das folgende Moment einen Anhaltspunkt für die Lokalisation geben:

Wenn das Auge für einen bestimmten Punkt eingestellt ist, so erscheinen nähere oder fernere Punkte (wenn sie nicht innerhalb der Accommodationslinie liegen) in Zerstreuungskreisen, die natürlich größer werden, je größer die Entfernung vom

fixierten Punkt ist. Bekanntlich wachsen aber die Zertreuungskreise diesseits und jenseits des fixierten Punktes mit dem Abstände von demselben nicht gleich rasch, sondern diesseits rascher als jenseits, was — abgesehen von der entsprechenden Änderung der Pupillenweite — aus einfachen dioptrischen Überlegungen hervorgeht und sich durch CZERMAKS bekannten Versuch gut demonstrieren läßt. Diese verschiedene Gröfse der Zertreuungskreise kann möglicherweise für die Beurteilung der Entfernung bestimmend werden. Es ist dazu vielleicht nicht nötig, daß die Versuchsperson von dieser optischen Tatsache Kenntnis habe und beim Versuche physikalische Überlegungen anstelle (was durch geeignete Wahl der Beobachter leicht auszuschließen wäre); vielmehr könnte vielleicht die reiche Erfahrung, die jeder Sehende über dieses Verhalten hat, genügen, eine rein gewohnheitsmäßige Association von Nähen- oder Fernvorstellungen mechanisch herbeizuführen. Zu diesem nicht sehr ins Gewicht fallenden, aber der Sicherheit wegen dennoch zu vermeidenden Versuchsfehler kommt noch die Gefahr eines weiteren. Bei gleichzeitigem Erscheinen beider Objekte werden die parallaktischen Verschiebungen bei eventuell unruhiger Haltung des Kopfes sehr eindringlich und verhelfen sofort zu einer richtigen Beurteilung der relativen Lage. So verursacht, gleichviel ob das nähere oder fernere Objekt fixiert wird, die geringste Rechtsdrehung des Kopfes eine scheinbare Verschiebung des ferneren Objektes nach rechts. Aus dieser Scheinbewegung wird sofort erkannt, daß dasselbe ferner liegt als das andere. Aus diesen Gründen gebührt der Vorzug denjenigen Versuchen, in welchen nicht beide Objecte gleichzeitig sichtbar sind, sondern das erste Objekt verschwindet, sobald das zweite auftritt.

§ 17. Für die folgenden Versuche ist die Anordnung wieder die S. 111 beschriebene. Die beiden Schienen werden durch den Bogen  $f$  verkoppelt und so gestellt, daß die scharfe Kante des einen Kartonschirmes in der Symmetrieebene des Apparates liegt, in welchem Falle die andere Kante auferhalb des Gesichtsfeldes liegt. Der Beobachter blickt durch den Tubus und giebt an, wann er die eine Kante vollkommen scharf sieht. Hierauf wird das verkoppelte Schienensystem möglichst rasch so verschoben, daß nunmehr die zweite Kante unmittelbar nach dem Verschwinden der ersten in die Symmetrieebene

rückt. Der Beobachter hat anzugeben, ob ihm die zweite Kante näher, gleich weit oder ferner erscheint, bzw. ob er kein bestimmtes Urteil abzugeben im stande ist. Die Entfernungen der Schirme vom Beobachter, sowie dessen Aussage werden notiert. Selbstverständlich muß jede längere Versuchsreihe durch mehrfache Pausen unterbrochen werden, da sehr leicht Ermüdung der Augen und allgemeine psychische Ermüdung eintritt.

Im Folgenden werde ich für die einzelnen Beobachter nicht die ganzen Versuchsserien mitteilen, sondern nur die kleinsten Entfernungsintervalle angeben, welche mit Sicherheit oder wenigstens mit verschwindender Fehlerzahl erkannt worden sind. In Parenthese füge ich den, den einzelnen Entfernungen entsprechenden Accommodationszustand, in Dioptrien (D.) ausgedrückt, bei, bzw. die den einzelnen Intervallen entsprechenden Dioptriendifferenzen.

(Um die Übersicht über das Ausmaß der bei den folgenden Versuchen erforderten Accommodationen zu erleichtern, habe ich, wie man sehen wird, ausschließlich Entfernungen in Anwendung gebracht, denen immer ein Vielfaches einer halben Dioptrie entspricht.)

I. Herr Dr. H. E. HERING (linkes Auge, Myopie von 1,5 D., normale Sehschärfe). Grenzen der Untersuchung waren 200 mm und 660 mm. Beim Übergang von der Nähe zur Ferne wird mit Sicherheit nur das Intervall 200—400 (5 D — 2,5 D.) (Dioptriendifferenz 2,5) erkannt. Erhielt die nähere Kante eine größere Entfernung als 200 mm, so war innerhalb der Accommodationsbreite dieses Beobachters kein Intervall mehr zu finden, das derselbe mit Sicherheit erkannt hätte. Bei 250 mm Entfernung der näheren Kante (also entsprechend 4 D.) hätte die entferntere Kante offenbar einen Abstand von über 660 mm haben, d. h. sie hätte jenseits des Fernpunktes dieses Beobachters liegen müssen. Innerhalb der Accommodationsbreite war also nur das Intervall 200—400 als sicher erkennbares aufzufinden.

Anders liegt die Sache beim Übergang von der Ferne zur Nähe. Hier wird fast ohne Fehler erkannt:

660—330 (1,5 D. — 3 D.; Diff. 1,5),

500—290 (2 D. — 3,5 D.; Diff. 1,5),

290—200 (3,5 D. — 5 D.; Diff. 1,5).

Für diesen Beobachter ist also die Unterscheidung bei der Annäherung innerhalb engerer Grenzen möglich, als bei der Entfernung.

II. Herr SPRINGER (Emmetrop, normale Sehschärfe). Versuchsintervall 250 mm — 1000 mm. Beim Übergang von der Nähe zur Ferne werden fast ohne Fehler erkannt die Intervalle  
250—500 (4 D. — 2 D.; Diff. 2),  
290—660 (3,5 D. — 1,5 D.; Diff. 2).

Steht die nähere Kante weiter als 290 mm, so läßt sich innerhalb der durch den Apparat gegebenen Grenzen kein sicher erkennbares Intervall mehr ausfindig machen.

Beim Übergang von der Ferne zur Nähe wird fast ohne Fehler erkannt das Intervall

660—290 (1,5 D. — 3,5 D.; Diff. 2).

Bei dem Intervall

500—250 (2 D. — 4 D.; Diff. 2)

überwiegen bereits die falschen Angaben.

Kleinere als die angeführten Intervalle werden sowohl bei Annäherung als bei Entfernung nicht erkannt; doch überwiegen die Fehler entschieden im Falle der Annäherung.

Bei diesem Beobachter stellt sich also das zur Unterscheidung erforderliche Intervall geringer heraus für die Entfernung als für die Annäherung.

III. Herr J. STRANSKY (Emmetrop, normale Sehschärfe). Versuchsintervall 200 m — 1000 mm.

Beim Übergang von der Nähe zur Ferne wurden selbst beim größten Intervall (200—1000) noch nahezu ebensoviel falsche wie richtige Angaben gemacht. Beim Übergang von der Ferne zur Nähe wurden noch ziemlich sicher erkannt die Intervalle:

500—290 (2 D. — 3,5 D.; Diff. 1,5),

330—250 (3 D. — 4 D.; Diff. 1),

290—200 (3,5 D. — 5 D.; Diff. 1,5).

Bei diesem Beobachter ist also die Unterscheidung für Annäherung innerhalb viel engerer Grenzen möglich als für Entfernung, bzw. es besteht im letzteren Falle vielleicht überhaupt kein Intervall, in welchem die Richtung der Entfernungsänderung mit Sicherheit erkannt würde.

IV. Herr Dr. WEISS, Assistent an der 2. deutschen internen Klinik in Prag. Myopie des linken (zur Beobachtung ver-

wendeten) Auges von  $2\frac{1}{4}$  Dioptrien; Sehschärfe normal. Seit dem dritten oder vierten Lebensjahre besteht im rechten Auge eine Hornhautmakel. Der Beobachter vermag mit diesem Auge Finger in ca. 1 m Entfernung zu zählen. Da er mit diesem Auge natürlich unter keinen Umständen scharf sieht, so ist er des Mittels der Netzhautdisparationen nie teilhaftig; für die Tiefenlokalisation verhält er sich also wie ein Einäugiger. Den HERINGSchen Fallversuch hat er zum letzten Male im Vorjahre ausgeführt; dabei hielten sich richtige und unrichtige Angaben das Gleichgewicht, mit anderen Worten: es fehlt ihm die Fähigkeit, auf Grund der Disparationen oder Doppelbilder nach der Tiefe zu lokalisieren.

Herr Dr. WEISS war früher an der Deutschen Augenklinik thätig. Auf meine Anfrage teilt er mir mit, dafs er beim Ophthalmoskopieren schon geringgradige Hypermetropien diagnostizieren könne, ohne Konvexlinsen vorzusetzen, sondern blofs mit Hülfe willkürlicher Accommodationsanspannung. Desgleichen gelingt es ihm nach seiner Angabe leicht, ohne Fixationspunkt die Accommodation zu entspannen oder zu verstärken.

Die Untersuchung dieses Beobachters ist für unsere Zwecke von höherem Interesse. Da derselbe keinen binokularen Sehakt hat, der ihm zur binokularen Tiefenwahrnehmung brauchbare Disparationen (bezw. Doppelbilder) liefert und damit die Möglichkeit binokularer Stereoskopie bietet, ist er im täglichen Leben darauf angewiesen, andere Lokalisationsmittel in Anwendung zu bringen und seine Aufmerksamkeit in höherem Grade auf diese zu richten, als dies Individuen mit integrem binokularem Sehakt nötig haben. Natürlich werden dabei die sogenannten empirischen Lokalisationsmotive die Hauptrolle spielen; der Beobachter wird auf Perspektive, Schattenverteilung, partielle Deckung u. dergl. m. genauer zu achten und diese Mittel daher ausgiebiger zu verwerten haben. Wo aber diese fehlen oder nicht hinreichen, dort kann man voraussetzen, dafs er auch die Accommodation zu Rate zieht. Jedenfalls wird er sich dieses Mittels häufiger bedienen als wir, die wir an den Disparationen und Doppelbildern viel feinere Reagentien auf Tiefenunterschiede besitzen. In der That zeigen die sogleich mitzuteilenden Werte, dafs dieser Beobachter das Moment der Accommodationsänderung viel besser ausnützt als die andern.

Das Intervall der Beobachtungen lag zwischen 200 mm und 500 mm.

Beim Übergang von der Nähe zur Ferne konnte der Beobachter noch folgende Intervalle richtig beurteilen:

- 200—250 (5 D. — 4 D.; Diff. 1),
- 220—290 (4,5 D. — 3,5 D.; Diff. 1),
- 250—330 (4 D. — 3 D.; Diff. 1),
- 290—400 (3,5 D. — 2,5 D.; Diff. 1).

Bei kleineren Intervallen als den angeführten beginnen bereits die Fehlangaben. So kommen bei

- 250—290 (4 D. — 3,5 D.; Diff. 0,5)

auf 4 richtige Fälle schon 2 falsche; bei

- 290—330 (3,5 D. — 3 D.; Diff. 0,5)

auf 7 richtige Angaben 3 falsche.

Beim Übergang von der Ferne zur Nähe müssen im allgemeinen gröfsere Intervalle in Anwendung gebracht werden, wenn die Richtung der Entfernungsänderung erkannt werden soll. Beim ersten, zweiten und dritten der obigen Intervalle werden, wenn die entferntere Kante zuerst ins Gesichtsfeld tritt, ganz überwiegend falsche Angaben gemacht. Hingegen werden richtig erkannt die Intervalle

- 400—290 (2,5 D. — 3,5 D.; Diff. 1),
- 290—200 (3,5 D. — 5 D.; Diff. 1,5).

Bei diesem Beobachter ist also das zur Unterscheidung nötige Intervall für die Annäherung gröfser als für die Entfernung.

V. HILLEBRAND. (Myopie von 1,5 D.; normale Sehschärfe.)  
Versuchsintervall 660 mm bis 200 mm.

Nach einer ausgiebigen Übung (14 Tage mit täglich mindestens 1<sup>1</sup>/<sub>2</sub>stündiger Beobachtung) habe ich es dahin gebracht, Intervalle, denen eine Differenz von 1 Dioptrie entspricht, durchweg richtig zu beurteilen, und zwar sowohl beim Übergang von der Nähe zur Ferne, wie auch umgekehrt. Ich beurteile die Richtung der Entfernungsänderung fehlerfrei bei der Intervallreihe

- 200 — 250 — 330 — 500 — 660,<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Das letzte Intervall (500—660) entspricht nur einer Differenz von einer halben Dioptrie. Dafs es dennoch sicher erkannt wurde, beruht wohl darauf, dafs in 660 mm Distanz mein Fernpunkt liegt. Das Objekt befindet sich somit hart an der Grenze des deutlichen Sehens.

sowohl in dieser Anordnung, als auch in der umgekehrten; kleinere Differenzen vermag ich nicht mehr fehlerfrei zu beurteilen.

Bei mir läßt sich eine Verschiedenheit der Unterscheidungsgrenze, je nachdem es sich um Annäherung oder Entfernung handelt, nicht konstatieren.

§ 18. Noch ist der wichtigste Teil der vorliegenden Arbeit zu erledigen: die Deutung der beschriebenen Versuche. Sie ist übrigens durch die eingangs gepflogenen theoretischen Erörterungen wesentlich vorbereitet.

Zunächst ergeben die Versuche, in welchen der Beobachter das Objekt während seiner Bewegung fixiert und ihm mit der Accommodation folgt,<sup>1</sup> daß eine (centripetale) Muskelempfindung entweder überhaupt nicht existiert oder mindestens, wenn sie wirklich existierte, über die Tiefenlage des fixierten Objektes keinen Aufschluß giebt. Noch einmal will ich betonen, daß es sich nicht darum handelt, ob richtig d. h. mit der Wirklichkeit übereinstimmend lokalisiert wird, sondern nur darum, ob ein gewisser Accommodationszustand eine bestimmte Tiefenempfindung, und ob die kontinuierliche Änderung der Accommodation eine Änderung der Tiefenempfindung veranlaßt.

Dieses letztere ist nun bei den eben erwähnten Versuchen ganz sicher nicht der Fall, sofern nur der Beobachter beständig richtig accommodiert und — was wir ja stets voraussetzen müssen — sämtliche erfahrungsmäßigen Motive der Tiefenlokalisierung vollständig ausgeschlossen sind. Selbstverständlich sind die extremsten Grade der Accommodation (und damit zugleich der Konvergenz) ausgeschlossen, jene Grade, bei welchen schon im äußeren Bewegungsapparat Zerrungen vorkommen, welche als lästig empfunden werden.

Wie schon erwähnt, erledigt sich damit zugleich die Frage, ob uns von seiten der interni und externi tiefenbestimmende Muskelempfindungen zukommen, im negativen Sinne.

<sup>1</sup> Diese Bedingung ist sehr wesentlich. Wenn man der bewegten Kante nicht einfach mit der Accommodation folgt, sondern während der Bewegung probeweise die Accommodation willkürlich entspannt oder anspannt und darauf achtet, was für Wirkungen damit auf die Schärfe des Bildes ausgeübt werden, dann läßt sich die Bewegungsrichtung leicht ermitteln. Es treten dann die Bedingungen der zweiten Versuchsklasse ein, deren Resultate wir unten genauer diskutieren werden.

Wenn nun unter diesen Umständen die Bewegung eines Objektes nach der Tiefe nie gesehen und meistens auch nicht erkannt werden kann, so fragt sich doch, wie es denn in der zweiten Klasse unserer Versuche möglich war, hinreichend große Tiefenunterschiede dennoch mit Sicherheit oder wenigstens mit verschwindend geringer Fehlerzahl zu erkennen.

Wie erinnerlich, wurde bei diesen Versuchen das zuerst fixierte Objekt rasch durch ein zweites von anderer Entfernung ersetzt und so die Möglichkeit eines kontinuierlichen Folgens der Accommodation ausgeschlossen: das zweite Fixationsobjekt mußte zunächst in Zerstreungskreisen erscheinen und konnte sich erst nachträglich scharf abbilden. Für jeden Beobachter hat sich nun ein Entfernungsintervall finden lassen, bei welchem er die Richtung des Tiefenunterschiedes mit Sicherheit erkennt.

In welchem Umstande muß nun die Ursache gesucht werden, warum bei diesem abrupten Wechsel Tiefenunterschiede erkannt werden, während sie bei passend kontinuierlichem Wechsel verborgen bleiben?

Soviel steht fest, daß die Zerstreungskreise, in denen das zweite Objekt erscheint, keinen Hinweis darauf geben, ob dasselbe näher oder ferner liegt,<sup>1</sup> und daher auch nicht bestimmen können, in welcher Richtung der Accommodationsapparat in Thätigkeit gesetzt, ob er angespannt oder entspannt werden soll. Der Vorgang wird vielmehr folgender sein: Das zweite Objekt tritt auf und wird unscharf gesehen; in dem Bestreben des Deutlichsehens beginnt der Beobachter seine Accommodation nach einer der beiden möglichen Richtungen (also z. B. für die Nähe) zu ändern; war die Richtung dieser Änderung die passende, so werden die Zerstreungskreise kleiner und verschwinden endlich ganz, der Gegenstand wird scharf gesehen; war sie aber unpassend (spannt er z. B. die

---

<sup>1</sup> Unter Umständen kann der in solchen Versuchen Geübte wohl aus der besonderen Beschaffenheit der Zerstreungskreise, wie z. B. aus etwaigen Polyopien, aus der durch die chromatische Abweichung entstehenden Färbung u. dergl. einen Schluß auf die Tiefenlage machen. Das sind aber Mittel, die nur in Ausnahmefällen und besonders bei solchen wirksam werden, welche die Verschiedenheit der Zerstreungsbilder, je nachdem sie Objekten diesseits oder jenseits des fixierten Punktes angehören, zufällig beachtet oder absichtlich ihre Aufmerksamkeit darauf gelenkt haben.

Accommodation an, während das Objekt ferner liegt), dann wird das Bild nur noch undeutlicher, und der Beobachter merkt alsbald, daß er den verkehrten Weg gegangen war und umlenken müsse; er giebt also die entgegengesetzte Innervation und gelangt so zum gewünschten Ziele. (Daß der Vorgang sich in dieser Weise abspielen müsse, ist schon von vornherein sehr plausibel; ich werde indessen diese Auslegung später noch durch zeitmessende Versuche zu erhärten trachten.)

Nun weiß man aber bei willkürlich intendierter Accommodationsänderung, in welchem Sinne man die Änderung vorgenommen hat. (Im gewöhnlichen Falle dürfte diese Kenntnis schon dadurch gegeben sein, daß die Accommodationsänderung unter der Leitung einer in der Phantasie auftretenden Nähen- bzw. Fernvorstellung erfolgt. Siehe unten S. 133. Nur bei besonderer, planmäßiger Übung kann eine derartige Leitung vielleicht erspart werden.) Ob ferner die Änderung eine passende war oder nicht, dies erkennt man aus dem Größer- resp. Kleinerwerden der Zerstreuungskreise; und diese zwei Daten reichen hin, um zu erkennen, ob man es mit einem näher- oder fernergelegenen Objekte zu thun hat. Die Richtung des Tiefenunterschiedes wird also hier durch eine Art Ausprobierens erkannt.<sup>1</sup>

Ähnlich wird auch der Vorgang zu denken sein in den wenigen Fällen, in welchen bei bewegtem Objekt und stets folgender Accommodation (erste Versuchsklasse) die Richtung der Verschiebung mit Sicherheit erkannt wird. Wenn der Beobachter in einzelnen Fällen einen bewußten Impuls z. B.

---

<sup>1</sup> Aus dieser Deutung des Vorganges wird auch klar, warum Tiefenunterschiede leichter erkannt werden, wenn die beiden Objekte sich nicht in ihrem Auftreten ablösen, sondern durch einige Zeit simultan im Gesichtsfelde vorhanden sind. In diesem Falle nämlich wird es dem Beobachter möglich, jenes Ausprobieren mehrmals zu wiederholen und sich so größere Sicherheit zu verschaffen. Bei bloß einmaligem Wechsel der Accommodation genügt z. B. ein Mangel an Aufmerksamkeit, um die Beobachtung resultatlos zu machen, während man im anderen Falle durch Wiederholung des Vorganges den Fehler wieder gut machen kann. Ebenso kann man Fehler, die durch unpassende Umkehr der Accommodation (siehe darüber unten S. 135 f.) oder durch unwillkürliche Accommodationsänderungen (vergl. S. 134 f.) entstehen, durch öftere Wiederholung des Versuches korrigieren. — Daß übrigens das gleichzeitige Vorhandensein beider Objekte einen Versuchsfehler konstituiert, ist bereits oben (S. 124 f.) ausgeführt worden.

im Sinne der Anspannung giebt und dabei sieht, ob er das Deutlichsehen damit fördert oder schädigt, dann mag er die Richtung der Bewegung sicher erkennen. Wenn er dies nicht thut, so entstehen beim ersten Moment des Undeutlichwerdens (d. h. sobald der Gegenstand die Accommodationslinie überschritten hat) unwillkürliche Schwankungen in der Accommodation, die passende Phase dieser Schwankung erhält sich, weil sie dem Scharfsehen und damit unserer Absicht dient, und setzt sich automatisch fort — auf diese Weise aber wird die Richtung nicht erkannt.

Was die Willkürlichkeit der Accommodationsänderung anlangt, so unterscheidet sich der beschriebene Vorgang wesentlich von dem Falle, in welchem man ein Objekt scharf zu sehen trachtet, von dem man weiß, ob es näher oder ferner liegt als das zuvor fixierte. Denn diesfalls ist ein willkürlicher Akt nur in dem Sinne gegeben, daß der Gegenstand des Wollens das Deutlichsehen ist und mit diesem Willensakt bei Kenntnis der Tiefenlage die passende Accommodationsinnervation mechanisch verbunden und nicht selbst Gegenstand des Willens ist. Man will nicht accommodieren; man will deutlich sehen, und die Anspannung, bezw. Entspannung tritt ungewollt ein, sobald man von der Tiefenlage des Objektes Kenntnis hat. Anders im vorigen Falle, wo kein Hinweis gegeben ist, ob das zu fixierende Objekt näher oder ferner liegt. Wenn hier überhaupt ein willkürlicher Akt vorliegt, dann kann dies nur in dem Sinne gedacht werden, daß zwar das letzte Ziel ebenfalls das Deutlichsehen des Verschwommenen ist, daß hingegen eine Änderung des Accommodationszustandes hiermit nicht ungewollt und sozusagen mechanisch verbunden ist, sondern als ein intendierter Akt gesetzt wird,<sup>1</sup> wie man ein Mittel wählt, um eines Zweckes willen, wenn dieses Mittel auch — wie es in unserem Falle geschehen kann — sich nachträglich als ein verfehltes erweist.

---

<sup>1</sup> Wahrscheinlicher ist es mir allerdings, daß auch hier wenigstens eine Raumvorstellung in der Phantasie vorausgeht und die Accommodation (sowie Konvergenz) unter der Direktive dieser Phantasievorstellung geändert wird. So dürfte ja auch der Vorgang sein, wenn man im absolut dunklen Raum Konvergenz und Accommodation in willkürlicher Weise ändert. Es scheint, daß auch hier eine Nähen- oder Fernvorstellung in der Phantasie vorausgeht. In dieser Weise dürfte also der Vorgang der „willkürlich intendierten Accommodation“ zu fassen sein.

Die hier in Frage kommende zweite Klasse von Versuchen, in welchen der Wechsel der Entfernungen so rasch vor sich geht, daß die Accommodation nicht zu folgen vermag, ließen sich für sich genommen allerdings aus einem, übrigens sehr unvollkommen entwickelten, Muskelsinne erklären; es wäre denkbar, daß wir von der Accommodationsänderung (bei genügendem Ausmaße derselben) auf centripetalem Wege Kenntnis hätten, wobei wir freilich annehmen müßten, daß uns erst sehr bedeutende Muskelaktionen zum Bewußtsein kämen, entsprechend den großen Distanzunterschieden, die zwischen den beiden Objekten notwendig waren, um die Richtung des Unterschiedes sicher zu erkennen.

Diese Annahme ist aber, wie erwähnt, durch die erste Klasse von Versuchen, bei welchen die Accommodation folgen konnte, gänzlich ausgeschlossen, während die Hypothese, daß die Entfernungsänderung nur auf Grund der willkürlich intendierten Accommodationsänderung erkannt wird, beiden Versuchsklassen gerecht wird.

§ 19. Zwei Fragen sind indessen noch zu erledigen: erstens, woher kommen die falschen Angaben, wenn der Entfernungsunterschied eine gewisse, übrigens individuell verschiedene Größe nicht erreicht? Und dann: woher kommt es, daß eben bei diesen zu geringen Unterschieden die richtigen und falschen Angaben sich nicht immer ungefähr das Gleichgewicht halten, sondern daß bei manchen Beobachtern die Zahl der falschen Angaben beträchtlich überwiegt?

Zunächst ist sicher, daß nach Entfernung des ersten Fixationsobjektes die für dasselbe nötig gewesene Accommodation nicht festgehalten, sondern ganz unwillkürlich geändert wird, und zwar wird sie beim Auftreten des zweiten Objektes sicher nicht immer entspannt, sondern oft auch stärker angespannt. Da hier die Accommodationsänderung keine willkürlich intendierte ist und wir uns infolgedessen derselben nicht bewußt werden, erkennen wir die Richtung des Entfernungsunterschiedes nicht, und zwar auch dann nicht, wenn jene unwillkürliche Änderung der Accommodation zufällig im passenden Sinne verläuft und natürlich bei erreichter völliger Schärfe des Bildes Halt macht.

Es ist aber leicht einzusehen, daß das Ausmaß der unwillkürlichen Accommodationsänderung ein beschränktes ist. Darin

scheint mir der Grund zu liegen, warum die Entfernungsdifferenz in unseren Versuchen eine gewisse (und zwar individuell verschiedene) Gröfse erreichen muß, wenn die Angaben durchweg richtig ausfallen sollen. Denn erst dann, wenn die Entfernungsdifferenz jene Gröfse überschreitet, die noch im Bereiche der unwillkürlichen Accommodationsänderung liegt, ist zur völligen Bildschärfe ein willkürlich intendierter Innervationsakt erforderlich; und nur auf Grund eines solchen Aktes sind wir im stande, die Richtung des Entfernungunterschiedes zu erkennen.

Man könnte an dieser Auslegung der zweiten Versuchsklasse Anstand nehmen, wenn man sie mit der Deutung der ersten vergleicht. Der folgende Einwand hat einen gewissen Schein für sich. Man könnte sagen: bei kontinuierlicher Vergleichung des Objektes wurde für jene (weitaus überwiegende) Reihe von Fällen, in denen die Richtung der Verschiebung nicht erkannt wurde, angenommen, daß die nicht intendierte Accommodationsänderung, falls sie die passende ist, sich automatisch fortsetze. Bei sprunghaftem Wechsel (zweite Versuchsklasse) soll — wie schon früher erörtert — die passende Accommodation bei kleinen Intervallen ebenfalls eine nichtintendierte sein und erst bei größeren eines bewußten Impulses bedürfen. Warum setzt sich denn aber jene unwillkürliche Accommodationsänderung, wenn sie passend ist, nicht auch hier „automatisch“ fort? Dies — wird der Gegner sagen — wäre doch konsequenterweise anzunehmen. Dann aber wäre nicht einzusehen, warum für das Erkennen des Entfernungunterschiedes ein größeres Intervall geeigneter sein soll als ein kleineres. Sowohl kleine wie große Accommodationsänderungen wären ja dann „nicht intendiert“.

Jene Inkonsequenz, gegen die sich dieser Einwand richtet, ist indessen nur eine scheinbare.

Wenn die unwillkürliche Accommodationsänderung dem Sinne nach passend ist, braucht sie es noch nicht entfernt dem Ausmaße nach zu sein, d. h. sie braucht nicht tatsächlich das Deutlichsehen zur Folge zu haben. Es ist aber keine unwahrscheinliche Annahme, daß sie sich nur dann automatisch fortsetzt, wenn das gewünschte Ziel (die Deutlichkeit des Bildes) auch vollkommen erreicht wird. Dies ist der Fall bei kontinuierlichem Wechsel, es ist aber nicht der Fall

bei sprungweisem Wechsel, sofern nur der Sprung eine gewisse Gröfse überschritten hat. Ein kontinuierlicher Wechsel kann sozusagen aus infinitesimalen Sprüngen bestehend gedacht werden. Eine zufällig passende Schwankungsphase in der Accommodation führt also sofort zur völligen Deutlichkeit, und auf Grund dieses Umstandes wird die entsprechende Innervation automatisch fortgesetzt. Ist aber der Wechsel der Entfernung diskontinuierlich, so wird bei genügender Gröfse des Sprunges eine unwillkürliche Accommodationsschwankung vermöge ihres zu geringen Ausmafses noch nicht zum Deutlichsehen, sondern nur zu einer Verkleinerung der Zerstreuungskreise führen. Unter der Annahme nun, dafs die unwillkürliche Schwankung nur dann automatisch fortgesetzt wird, wenn sie sowohl dem Sinne als auch dem Ausmafs nach entsprechend ist, wird es erklärlich, dafs bei Sprüngen, die eine gewisse Gröfse überschreiten, ein willkürlicher und daher bewufster Impuls nötig ist, um deutlich zu sehen, und dafs erst in diesem Falle die Richtung der Entfernungsänderung erkannt wird. In dieser Weise scheint mir der obige Einwand lösbar.

Dafs der eben noch sicher erkennbare Distanzunterschied durchwegs bei der Entfernung ein gröfserer sein müsse als bei der Annäherung, wie dies nach WUNDTs Angaben der Fall sein soll, habe ich nicht konstatieren können; vielmehr haben die obigen Versuche gezeigt, dafs für gewisse Beobachter (Herr SPRINGER und Herr Dr. WEISS) die eben erkennbare Entfernungsdifferenz für die Entfernung eine kleinere ist, als für die Näherung. Es ist daher auch die Erklärung WUNDTs, „dafs wir es hier nur mit einem Specialfall des allgemeinen Gesetzes zu thun haben, dem zufolge nur die aktive Zusammenziehung gewisser Muskeln von einem an die Bewegung gebundenen Gefühle begleitet ist, während dem Nachlaf der Zusammenziehung, der Erschlaffung niemals ein Muskelgefühl folgt“<sup>1</sup> gegenstandslos, weil die Thatsache nicht besteht, die auf diese Weise erklärt werden soll.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> A. a. O. pag. 326.

<sup>2</sup> Auch die andere Behauptung WUNDTs, „dafs innerhalb der Accommodationsweite beim Näherrücken des Gegenstandes der Durchmesser desselben auf die Unterscheidungsgrenze ohne Einflufs ist, während dieser Einflufs beim Fernerrücken ebenso merkbar wird wie bei allen Entfernungsschätzungen jenseits des Fernpunktes“, scheint mir

(Wenn es sich nicht um dieselbe Strecke handelt, die einmal im Sinne der Entfernung, dann in dem der Annäherung von der Accommodation durchlaufen wird, sondern wenn von einem bestimmten Ausgangspunkt aus die Größe des eben erkennbaren Intervalles diesseits und jenseits dieses Punktes bestimmt werden soll, dann ist allerdings (und WUNDT hat ganz richtig darauf hingewiesen) die jenseits gelegene Strecke notwendig größer als die diesseits gelegene. Dies hat seinen Grund einfach darin, daß bei gegebener Objektgröße der Gesichtswinkel und damit die Bildgröße nicht proportional der Entfernung wächst, sondern langsamer als diese. Beim Fernerrücken muß also das Objekt eine größere Strecke durchlaufen als beim Näherrücken, wenn der Gesichtswinkel und damit das Netzhautbild sich in einem Falle um ebensoviel verkleinern soll, als es sich im anderen vergrößert. Also nur in diesem Sinne kann man sagen, daß für die Entfernung der eben erkennbare Distanzunterschied größer ist, als für die Annäherung, und nicht, wenn es sich um eine und dieselbe Strecke handelt, die einmal im Sinne der Näherung, das andere Mal im Sinne der Entfernung durchmessen wird.)

§ 20. Die zweite Frage, welche wir oben stellten, war diese: Woher kommt es, daß, wenn der Distanzunterschied kleiner ist, als der mit Sicherheit erkennbare, sich häufig die richtigen und falschen Angaben nicht beiläufig das Gleich-

---

unhaltbar. Mindestens entbehrt sie jedes Beweises. Sie wäre nur dann richtig, wenn unabhängig von ihr die folgenden zwei Thatsachen feststünden, 1. daß die Unterscheidungsgrenze für die Annäherung allgemein eine geringere ist als für die Entfernung, und 2. daß das Muskelgefühl bei der Annäherung eine Rolle spielt, während es bei der Entfernung überhaupt fehlt. Die erstere Behauptung ist empirisch nicht erweisbar; die zweite würde erst feststehen, wenn wir bereits wüßten, daß bei der Entfernung die Verkleinerung des Bildes ohne Einfluß ist. Wenn daher WUNDT in der Verschiedenheit der Unterscheidungsgrenze für Annäherung und Entfernung ein Argument dafür sieht, „daß innerhalb der Accommodationsgrenzen das Näherrücken der Objekte aus den Accommodationsbewegungen erschlossen wird“, so kann ich hierin nur einen Cirkelbeweis erblicken. (Vgl. dazu oben S. 112 ff.)

Von vornherein ist es übrigens schon höchst unwahrscheinlich, daß die Verkleinerung der Netzhautbilder unser Urteil über die Tiefe bestimmen, die gleich rasche Vergrößerung aber ohne Einfluß auf die Lokalisation sein soll. Wie man diese Annahme plausibel machen soll, ist nicht abzusehen.

gewicht halten, sondern dafs bei einem gewissen Sinne der Bewegungsrichtung (z. B. beim Übergang von der Nähe zur Ferne) die falschen oft stark überwiegen? Nicht durchweg ist dies der Fall, wohl aber ist bei einzelnen Beobachtern unverkennbar die Tendenz vorhanden, bei noch nicht sicher erkennbaren Distanzunterschieden das zweite Objekt beständig für näher oder beständig für ferner zu halten als das erste, und daher bei der Entfernung überwiegend falsche Angaben zu machen, während die Annäherung in der gröfseren Zahl der Fälle richtig beurteilt wird. Eine sichere und abschließende Antwort auf diese Frage vermag ich nicht zu geben; es können individuelle Eigentümlichkeiten und Gewohnheiten das Urteil mit besonderer Leichtigkeit bestimmen, wenn im Sehakt selbst keine zwingende Veranlassung zur Lokalisation liegt. Hingegen scheint mir doch ein Moment von Bedeutung, auf dessen Beachtung ich durch eine gelegentliche Bemerkung eines Beobachters geführt worden bin. Ein Beobachter äufserte sich einmal dahin, dafs er beim Auftreten eines neuen Objektes von unbekannter (relativer) Tiefenlage meistens zuerst die Accommodation etwas anspanne. Wenn diese Innervation willkürlich und passend ist, dann ist es begreiflich, dafs der Beobachter richtig urteilt. Ist sie aber unpassend, und ist der Distanzunterschied nicht grofs, so ist es mir nicht unwahrscheinlich, dafs dann Accommodationsveränderungen vor sich gehen, auf die nicht selbst die Willensintention gerichtet war, sondern die nur als Folge des Strebens nach Deutlichkeit auftreten. Wenn unsere früher erörterte Ansicht richtig ist, dann ist aber nur die intendierte Accommodationsbewegung für das Urteil bestimmend. War also die erste Änderung der Accommodation die einzige intendierte, so wird das Urteil über die Tiefenänderung nur durch diese bestimmt. Setzen wir nun den Fall, ein Beobachter habe die Gewohnheit, allemal zuerst die Accommodation anzuspannen, so wird es begreiflich, dafs, wenn das zweite Objekt ferner liegt als das erste, die Angaben überwiegend falsch ausfallen und nicht, wie man zunächst erwarten könnte, richtige und falsche Angaben sich ungefähr das Gleichgewicht halten. Es ist aber weiter begreiflich, dafs ein solches Überwiegen der falschen Fälle nur bei gewissen Beobachtern vorkommt, bei anderen wieder nicht; denn es ist eine individuelle Gewohnheit, beim Auftreten eines neuen Gegenstandes, über

dessen Tiefenlage man nicht unterrichtet ist, zunächst immer die Accommodation anzuspüren. Selbstverständlich kann es ebensogut vorkommen, daß nach der ersten auch eine zweite Accommodationsbewegung willkürlich eingeleitet wird und sich dann das Urteil über die Tiefenlage nicht nach der ersten, sondern nach einer späteren (intendierten) Accommodationsinnervation richtet, in welchem Falle dann die Angabe trotz einer etwa bestehenden Gewohnheit, zunächst für die Nähe (Ferne) zu accommodieren, dennoch richtig ausfallen kann. Warum letzteres bei großen Distanzunterschieden eher der Fall ist als bei kleinen, wurde bereits besprochen. (Vgl. S. 135 f.)

§ 21. Daß bei unbekannter Richtung des Tiefenunterschiedes zwischen zwei nacheinander auftretenden Objekten eine Art Ausprobierens mittels der Accommodation stattfindet, haben wir früher als den mit größter Wahrscheinlichkeit anzunehmenden Vorgang supponiert. Es giebt jedoch ein mittelbares Kriterium für die Richtigkeit dieser Annahme, das der Beobachtung direkt zugänglich gemacht werden kann: die zur Accommodation nötige Zeit.

Wenn für ein bestimmtes Objekt accommodiert wird und nun plötzlich ein zweites Objekt ins Gesichtsfeld tritt, von dem man zunächst nicht weiß, ob es vor oder hinter dem ersten gelegen ist, so haben wir angenommen, daß wir in dem Bestreben, scharf zu sehen, irgend eine Accommodationsänderung vornehmen, die passend oder unpassend sein kann, und daß im letzteren Falle mindestens eine einmalige Umkehr in der Accommodationsbewegung eintritt. Dies muß sich nun notwendig in der zur richtigen optischen Einstellung nötigen Zeit verraten. Es ist zu erwarten, daß bei gleichen Distanzen diese Zeit bald größer, bald kleiner ausfallen wird, je nachdem man sogleich die richtige Innervation getroffen hat oder nicht. Und weiter muß man erwarten, daß, wenn der Beobachter darüber unterrichtet wird, ob das zu erwartende zweite Objekt vor oder hinter dem ersten erscheinen wird, die Accommodationszeiten auf keinen Fall so große Werte annehmen, wie dann, wenn man über die Tiefenlage vorher nicht orientiert ist.

Die folgenden Versuche haben nur den Zweck, die besprochenen Zeitverhältnisse zu prüfen, nicht aber absolute Maße für die Accommodationsdauer zu gewinnen. Unter-

suchungen, welche den letzteren Zweck verfolgen, müßten mit viel feineren Mitteln der Zeitmessung ausgeführt werden; sie lagen um so weniger in meinem Plane, als dieser Gegenstand bereits durch die Arbeiten von VIERORDT, AEBY und BARRET näher untersucht worden ist.

§ 22. Unsere Versuchsanordnung ist durch die nebenstehende schematische Darstellung (Fig. 2) versinnlicht.

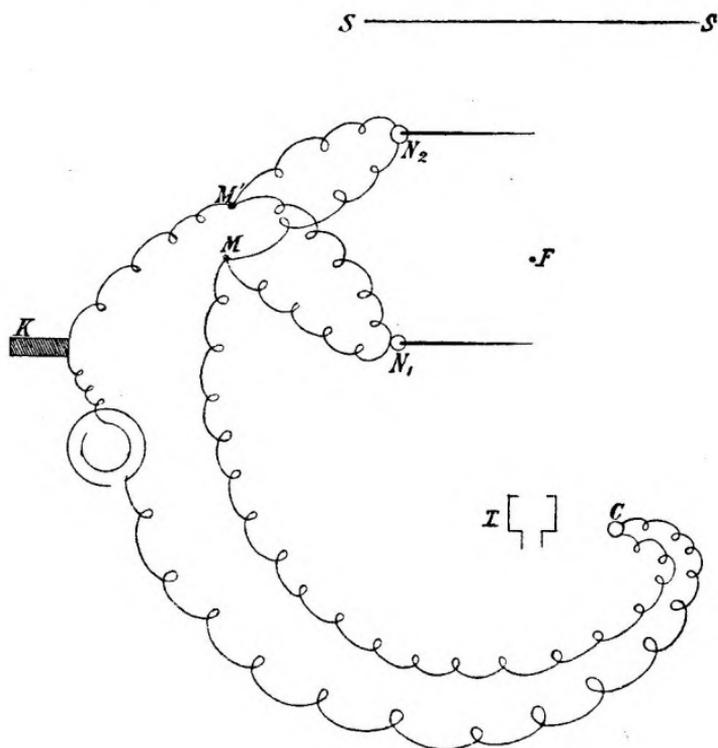


Fig. 2.

Der Beobachter blickt durch den Tubus  $T$  auf den vertikalen schwarzen Faden  $F$ , der sich von dem beleuchteten weißen Schirm  $S$  deutlich abhebt.

$N_1$  und  $N_2$  sind Gestelle, welche je eine Nadel tragen. Diese Nadeln können vertikal gestellt werden und befinden sich diesfalls außerhalb des durch den Tubus begrenzten Gesichtsfeldes; durch Entfernung einer Hemmungsvorrichtung können sie mittelst einer Spiralfeder in die horizontale Lage geschnellt werden; sie liegen alsdann in der primären Blickebene und reichen mit ihren Spitzen bis hart an die Symmetrieebene des Apparates (in welcher Ebene der vertikale Faden liegt). Die

Nadeln sind ferner von verschiedener Dicke und ihre Entfernungen vom Beobachter so gewählt, daß, wenn dieser auf den Faden accommodiert, beide Nadeln in gleich großen Zerstreuungsbildern erscheinen, so daß man aus dem undeutlichen Bilde nicht ersehen kann, ob dasselbe von der vorderen oder hinteren Nadel herrührt. Damit aber auch die durch die chromatische Abweichung bedingte Verschiedenheit in der Färbung der Zerstreuungskreise der vorderen und hinteren Nadel keinen Hinweis auf die Tiefenlage gebe, habe ich vor den Tubus ein grünes Glas gesetzt, welches also vorwiegend Strahlen mittlerer Wellenlänge durchläßt.<sup>1</sup>

Bei den folgenden Versuchen stellt der Beobachter auf den Vertikalfaden ein, während beide Nadeln in Vertikalstellung sind und daher nicht gesehen werden. In einem gegebenen Moment löst ein Gehülfe die Hemmung an einem der beiden Nadelapparate, die betreffende Nadel schnell in die Horizontal-lage und tritt damit ins Gesichtsfeld; sie wird in einem Zerstreuungsbilde gesehen, und der Beobachter hat die Aufgabe, so rasch, als es ihm möglich ist, auf die Nadelspitze zu accommodieren. Nun soll die Zeit gemessen werden, welche von dem Augenblick des Auftretens der Nadel bis zu demjenigen Moment verläuft, in welchem die Nadel scharf gesehen wird. Diese Messung wird durch folgende Einrichtung bewerkstelligt:

Die Nadelapparate sind in einen Stromkreis eingeschaltet; wenn die Nadeln in die horizontale Lage fallen, schliessen sie einen Kontakt. In diesem Stromkreise liegt aufer den Nadelapparaten die rotierende Trommel *K* mit einem elektromagnetischen Signalschreiber und der Schlüssel *C*; derselbe ist mit einem federnden Taster versehen, in der Weise, daß der Strom geschlossen ist, solange der Beobachter den Taster niederhält und beim Wegziehen des Fingers sofort unterbrochen wird. In *M* und *M'* teilt sich der Strom in die beiden Zweige, die zu den beiden Nadelapparaten führen; er wird geschlossen, wenn auch nur eine der beiden Nadeln sich in der Horizontal-lage befindet. — Der Vorgang bei der Beobachtung spielt sich in folgender Weise ab:

---

<sup>1</sup> Die Entfernung des Fadens vom mittleren Knotenpunkt des Beobachters betrug 250 mm, die der näheren Nadel 175 mm, der ferneren 480 mm.

Der Beobachter blickt durch den Tubus und accommodiert auf den Faden, während er gleichzeitig den Taster des Schlüssels niederhält. Dabei stehen beide Nadeln vertikal, also in einer Stellung, in der sie unsichtbar sind und den Kontakt nicht schliessen; der Strom ist also unterbrochen. Sobald eine der Nadeln in die Horizontallage einschnellt, schliesst sich der Strom, und der Elektromagnet zieht den Schreiber an sich. Sobald nun der Beobachter die Nadel scharf sieht, läßt er den Taster los und unterbricht dadurch den Strom, der Schreiber an der Trommel wird wieder losgelassen. Vermittels einer gleichzeitigen Zeitmarkierung läßt sich alsdann mit einer für den vorliegenden Zweck mehr als hinreichenden Genauigkeit die Zeit an der Trommel ablesen, welche zwischen dem Moment des Einspringens der Nadel in die horizontale Lage und demjenigen verlaufen war, in welchem der Taster vom Beobachter losgelassen wurde.<sup>1</sup>

Die Versuche werden unter zwei verschiedenen Bedingungen angestellt: bei der einen Versuchsreihe wird dem Beobachter nicht gesagt, welche von den beiden Nadeln in das Gesichtsfeld einspringen wird, ob die vor oder die hinter dem Faden gelegene. Bei der zweiten Versuchsreihe wird er jedesmal darauf vorbereitet, welche Nadel erscheinen wird, so daß er weiß, in welchem Sinne er die Accommodation zu ändern hat.

§ 23. Im Folgenden teile ich die Ergebnisse tabellarisch mit, die ich aus meinen und des Herrn Dr. PERELES' Beobachtungen gewonnen habe.

---

<sup>1</sup> Wie schon erwähnt, kommt es mir hier nicht darauf an, absolute Maße für die Accommodationszeiten zu gewinnen. Die Zeitwerte, welche in der oben angegebenen Weise erhalten werden, sind auch nicht als solche anzusehen. Nur ein Teil (allerdings der größte) der so gemessenen Zeit wird von der Veränderung des Accommodationszustandes in Anspruch genommen; ein zweiter Teil verläuft vom Scharfsehen bis zur Kontaktöffnung (Reaktionszeit), ein dritter endlich von der Kontaktöffnung bis zu jenem Moment, in welchem der Elektromagnet den Schreiber losläßt (er kann als konstant betrachtet werden). Für bloße Zeitvergleichen, wie sie hier gemacht werden, sind diese Zuwächse ohne Belang. Dies ist trotz der Inkonstanz der Reaktionszeit selbst für den variablen Fehler der Fall, weil uns selbst dieser nicht seinem absoluten Ausmaße nach, sondern nur insofern interessiert, als er bei gewissen Versuchsumständen größer, bei anderen kleiner ausfällt (s. u.).

I. Tabelle der Accommodationszeiten in Sekunden.

(Beobachter: HILLEBRAND.)

Bei unbekannter Lage des zweiten Objektes		Bei bekannter Lage des zweiten Objektes	
Für die Nähe I.	Für die Ferne II.	Für die Nähe III.	Für die Ferne IV.
0,63	0,72	0,30	0,71
0,67	0,79	0,30	0,75
0,67	0,84	0,30	0,76
0,70	0,88	0,40	0,76
0,70	0,92	0,40	0,80
0,75	0,95	0,44	0,80
0,75	1,00	0,45	0,81
0,75	1,05	0,45	0,88
0,81	1,14	0,45	0,95
0,84	1,18	0,45	0,96

II. Tabelle der Accommodationszeiten in Sekunden.

(Beobachter: Herr Dr. HUGO PERELES.)

Bei unbekannter Lage des zweiten Objektes		Bei bekannter Lage des zweiten Objektes	
Für die Nähe I.	Für die Ferne II.	Für die Nähe III.	Für die Ferne IV.
0,96	1,11	0,69	0,85
1,00	1,41	0,72	0,88
1,18	1,44	0,76	0,96
1,19	1,44	0,80	0,96
1,22	1,55	0,81	1,00
1,31	1,58	0,84	1,00
1,32	1,66	0,84	1,08
1,37	1,85	0,88	1,24
1,41	1,92	0,92	1,42
1,42	1,96	1,00	1,56
1,72	(2,66)	1,08	—
2,24	—	1,08	—

(Die eingeklammerte Zahl 2,66 fällt so offenbar aus der Reihe, daß man hier jedenfalls eine zufällige Störung des Beobachters als Grund annehmen muß.)

Die Bedeutung der Zahlen in den einzelnen Kolumnen ist durch die entsprechenden Überschriften klar. Die Werte sind

der Übersichtlichkeit halber (aufsteigend) geordnet. In den Versuchen selber sind die Fälle, in denen die Nadel näher, und diejenigen, in denen sie ferner liegt als der Faden, selbstverständlich in buntem Durcheinander gegeben, während die Tabelle beide Reihen trennt.

§ 24. Vor allem fällt in die Augen, daß die III. und IV. Kolumne erheblich kleinere Werte zeigt, als die I. beziehungsweise die II. Bei mir liegen die für die Accommodation auf die nähere Nadel erfordernden Zeiten dann, wenn ich über die Lage der Nadel unterrichtet war, zwischen 0,30 und 0,45<sup>s</sup> (III. Kol.), dann, wenn ich über die Lage in Unkenntnis war, zwischen 0,63 und 0,84 (1. Kol.); bei Herrn Dr. PERELES im ersteren Falle zwischen 0,69 und 1,08, im zweiten zwischen 0,96 und 2,24. War die zweite Nadel ferner als der Faden, so liegen für mich die Werte im Falle der Kenntnis zwischen 0,71 und 0,96, im Falle der Unkenntnis zwischen 0,72 und 1,18; für Herrn Dr. PERELES bei Kenntnis der Lage zwischen 0,85 und 1,56, bei Unkenntnis derselben zwischen 1,11 und 1,96.

Die Accommodationszeiten sind also im Durchschnitt wesentlich größer, wenn der Beobachter nicht weiß, ob das neuauftretende Objekt vor oder hinter dem bereits fixierten liegt, als wenn er davon Kenntnis hat.

Weiter zeigen die Tabellen, daß, wenn man von der Lage des zweiten Objektes weiß, die Accommodationszeiten bei den verschiedenen Versuchen weniger untereinander abweichen, d. h. sich in einem relativ kleineren Intervall bewegen, als wenn man von der relativen Lage des zweiten Objektes keine Kenntnis hat. Man vergleiche z. B. Kolumne II und IV in der I. Tabelle. Das Intervall, in dem sich die Zeitwerte bewegen, ist bei unbekannter Lage des zweiten Objektes (Kol. II) 0,46, bei bekannter Lage (Kol. IV) nur 0,25. Der Vergleich der I. mit der III. Kolumne zeigt einen Unterschied im selben Sinne (wenn auch geringerem Ausmaße): für Kolumne I beträgt der Spielraum 0,21, für Kolumne III 0,15. Sehr auffallend ist er auch bei der I. und III. Kolumne der II. Tabelle (Dr. PERELES): in der I. Kolumne beträgt das Intervall 1,24, in der III. Kolumne nur 0,39. Geringer ist die Differenz für die II., resp. IV. Kolumne, nämlich 0,85 und 0,71.

Der Grund dieses Verhaltens ist nach den früheren Erörterungen klar. Wenn die Lage des zweiten Objektes unbekannt

ist, kommen ja ebenso passende wie unpassende Innervationen vor; bei unpassenden wird natürlich, da mindestens ein einmaliger Wechsel in der Innervation stattfinden muß, eine gröfsere Zeit erforderlich sein. Weifs aber der Beobachter, ob das zweite Objekt vor oder hinter dem ersten erscheinen wird, dann befindet er sich nie in der Lage, eventuell unpassend zu innervieren; die Zeitwerte werden also untereinander notwendig mehr übereinstimmen, als im anderen Falle.

Noch eines Umstandes muß hier Erwähnung gethan werden. Wenn der Beobachter das eine Mal weifs, das andere Mal nicht weifs, ob das zweite Objekt vor oder hinter dem ersten erscheinen werde, so befindet er sich in doppelter Hinsicht beide Male in verschiedener Lage und wird mit seiner Accommodation in doppelter Hinsicht verschieden verfahren. Erstlich wird er bei unbekannter Lage des Objektes einmal passend, ein anderes Mal unpassend innervieren und letzterenfalls mehr Zeit brauchen (worauf schon hingewiesen wurde); dann aber wird bei bekannter Lage des Objektes — ganz abgesehen davon, daß hier kein Zeitverlust durch unpassende Innervation vorkommt — auch deswegen weniger Zeit in Anspruch genommen werden, weil, sobald man sich über Ziel und Richtung der auszuführenden Bewegung klar ist, diese mit gröfserer Energie einsetzt und daher rascher vollzogen wird, als wenn man sich über die Zweckmäfsigkeit des gewählten Mittels gänzlich im unklaren befindet, wie etwa ein Mensch, der im Finstern geht oder mit den Händen nach etwas greifen will.

Es wäre aber irrig, anzunehmen, daß, sobald sich für die Accommodationszeit bei unbekannter Lage des Objektes gröfsere Werte ergeben, als bei bekannter Lage, dieses Überwiegen lediglich durch den letzterwähnten Umstand veranlafst werde (wenn derselbe auch ohne Zweifel mitwirkt). Ein Blick auf die Tabellen wird uns darüber belehren. In Tabelle I überwiegen sämtliche Werte der I. Kolumne (0,63 bis 0,84) über die Werte der III. Kolumne (0,30 bis 0,45); aber nichts Ähnliches ergibt der Vergleich der II. mit der IV. Kolumne. Nicht weniger als sechs Werte der II. Kolumne (0,72 bis 0,95) fallen in das Intervall der IV. (0,71 bis 0,96). Dasselbe Verhalten zeigt sich, wenn wir in der II. Tabelle die II. mit der IV. Kolumne vergleichen; die ersten fünf Werte der II. Kolumne (1,11 bis 1,55) fallen in das Intervall der IV. (0,85 bis 1,56).

Würden die Zeitverschiedenheiten bei bekannter und bei unbekannter Lage nur dadurch zu erklären sein, daß man bei Unklarheit über die Zweckmäßigkeit des Mittels weniger energisch innerviert, dann wäre nicht einzusehen, warum bei unbekannter Lage des Objektes ein Mal sämtliche Werte größer sind, als die bei bekannter Lage (Tab. I, Kol. I und III), ein anderes Mal aber ein Teil der einen Werte in das Intervall der anderen hineinfällt (z. B. Tab. I, Kol. II und IV). Wir müssen vielmehr annehmen, daß eben jenes Ausprobieren mittels der Accommodation statthat, und daß weiter habituelle Gewohnheiten bestehen, etwa beim Neuauftreten eines Objektes von unbekannter Lage die Accommodation vorwiegend nach einer bestimmten Richtung zu ändern, also etwa vorwiegend zu entspannen. Bei mir ist letzteres offenbar der Fall. Jetzt wird es erklärlich, warum, wenn das zweite Objekt näher liegt, ohne daß der Beobachter davon weiß, in allen Fällen mehr Zeit in Anspruch genommen wird, als wenn er davon weiß — warum aber, wenn es ferner liegt, bei Unbekanntheit mit diesem Datum oft nicht mehr Zeit zur Accommodation benötigt wird, als bei Bekanntschaft mit demselben. Dies ist natürlich, sobald der Beobachter die Gewohnheit hat, wenn er nicht weiß, wie er die Accommodation ändern soll, sie zunächst immer zu entspannen.

§ 25. Ein Rückblick auf den Gang und die Resultate unserer Untersuchung ergibt folgendes:

Die Frage, ob und in welcher Weise die Accommodation den Tiefenwert des fixierten Punktes, d. i. des augenblicklichen Kernpunktes des Sehraumes, bestimmt, ist von der anderen Frage, welchen Einfluß nämlich die Konvergenz der Gesichtslinien auf die Tiefenlokalisierung hat, in praxi nicht trennbar — wegen des bekannten, zwischen Accommodation und Konvergenz bestehenden Zusammenhanges. Wenn alle sog. empirischen Motive der Lokalisation (so namentlich die Änderung der Bildgröße) ausgeschlossen sind und man einem nach der Tiefe sich bewegenden Objekt mit der Accommodation folgt, wobei die Bewegung so rasch vor sich gehen kann, daß jenes Folgen eben noch bequem möglich ist, so ist man nicht im stande, mit Sicherheit anzugeben, ob sich das Objekt genähert oder entfernt hat — sofern nur nicht die extremsten Grade der Nähe in Anwendung gebracht und dadurch lästige Empfindungen

erzeugt werden. Wir haben aus dieser Thatsache geschlossen, daß uns sog. Muskelempfindungen über die Tiefenlage des fixierten Punktes nicht unterrichten, und zwar (aus dem früher angeführten Grunde) weder Empfindungen, die von der Binnenmuskulatur des Auges, noch solche, die von den äußeren Augenmuskeln herrühren. — Wir haben weiter gesehen, daß, wenn das Fixationsobjekt plötzlich seine Tiefenlage ändert, so daß das Folgen der Accommodation unmöglich gemacht wird, für jeden unserer Beobachter sich ein Distanzunterschied finden ließe, von dem an er mit Sicherheit erkennt, ob der Wechsel im Sinne der Näherung oder der Entfernung vor sich gegangen ist. Es hat sich gezeigt, daß dieses Erkennen nur dadurch möglich wird, daß der Beobachter willkürlich zur Anspannung resp. Entspannung der Accommodation innerviert und dadurch, daß er aus dem Effekte sieht, ob er eine passende oder unpassende Innervation gesetzt hat, erkennt, ob die Distanzänderung eine Näherung oder eine Entfernung war. Es erwies sich also der bewusste Willensimpuls als das für das Erkennen der relativen Entfernung Entscheidende. Weiter hat die Selbstbeobachtung und die spontane Äußerung anderer Beobachter ergeben, daß auch in den letztgenannten Fällen, in welchen die Richtung des Tiefenwechsels fehlerlos angegeben wird, die größere oder geringere Entfernung nicht anschaulich in der Empfindung gegeben ist, nicht also in der Art, wie beim binokularen Sehen die auf der Disparation der Netzhautstellen beruhenden Tiefenunterschiede als Momente der anschaulichen Empfindung auftreten. Wir erinnern uns diesbezüglich der übereinstimmenden Aussagen aller Mitbeobachter, sie „wüßten“ zwar, daß das zweite Objekt näher, bzw. ferner liege, als das erste, könnten aber nicht behaupten, daß sie dies eigentlich „sähen“, Aussagen, die psychologisch von hoher Bedeutung sind. Schließlich haben wir für die Annahme, daß in den letztgenannten Fällen die Tiefenunterschiede durch eine Art Ausprobierens mit Hilfe der Accommodation erkannt werden, den empirischen Nachweis zu liefern gesucht durch Versuche über die zur Accommodation nötige Zeit.

§ 26. Von der vorstehenden Untersuchung, deren Resultate wir soeben angegeben, wird vermutlich der negative Teil, der, welcher sich gegen die Existenz eines sog. Muskelsinnes richtet oder mindestens behauptet, daß, wenn ein solcher

existiert, er für die Tiefenwahrnehmung ohne jeden Einfluß ist, am meisten Anstoß erregen. Wenn auch hervorragende Forscher, wie z. B. HERING, sich längst in derselben negativen Weise über diesen Gegenstand ausgesprochen haben, so haben dennoch die „Muskelgefühle“ und insonderheit die „Konvergenzgefühle“ nicht aufgehört, in den Theorien der räumlichen Wahrnehmung eine hervorragende Rolle zu spielen. Der Grund dieser Erscheinung ist jedem klar, der die Geschichte jener Theorien kennt. Die sog. „empiristische“ Richtung, welche die Qualitäten des Gesichtssinnes ursprünglich als raumlos und unlokalisiert denkt und die räumlichen Daten erst auf dem Wege der Erfahrung an die Qualitäten sich associieren läßt, kann eines fein abgestuften Systems von Muskelempfindungen nicht entbehren. In der That sind diesen Muskelempfindungen Funktionen zugemutet worden, die voraussetzen, daß ihre graduelle Abstufung an Feinheit mindestens den Raumsinn der Netzhaut erreicht.

Wenn sich diesen Suppositionen gegenüber nun herausstellt, daß z. B. das „Konvergenzgefühl“ gar nicht besteht, mindestens aber die Funktion eines Associationsbandes für Raumdaten gar nicht hat (geschweige denn, daß es etwa selbst einer anschaulichen räumlichen Bestimmung teilhaftig wäre), so ist damit allen jenen Konstruktionen das Fundament entzogen. In Ansehung der theoretischen Tragweite, welche die Leugnung der Bedeutung etwaiger Muskelgefühle für die optische Lokalisierung ohne Zweifel besitzt, ist es vielleicht nicht ganz überflüssig, darauf hinzuweisen, daß andere längst vorliegende Beobachtungen zu demselben Ergebnisse führen. Für die allgemeine Frage macht es dabei natürlich nichts aus, ob diese Beobachtungen sich gerade auf die Konvergenzbewegungen oder auf irgend welche andere, nicht symmetrisch associierte Augenbewegungen beziehen.

§ 27. Wenn man die Augen willkürlich seitwärts (etwa nach rechts) wendet, so bleiben die Objekte des Sehfeldes bekanntlich in Ruhe, obwohl sich ihre Bilder auf der Netzhaut verschieben. Es findet also für die Bewegung, die wegen der Bildverschiebung statthaben sollte, eine vollkommene Kompensation statt. Diese Erscheinung, für sich allein betrachtet, ließe eine Erklärung mit Hilfe von Muskelempfindungen zu; man könnte annehmen, daß uns die Bewegung des Bulbus

durch Empfindungen von seiten der Augenmuskel (in unserem Beispiel des linken rect. int. und rechten rect. ext.) bekannt werde, und dafs wir hiermit die durch die Bildverschiebung hervorgerufene Vorstellung einer Bewegung kompensieren.

Diese Erklärung wird aber sofort hinfällig, wenn wir uns an die bekannten Scheinbewegungen und Lokalisationsfehler erinnern, die bei Augenmuskelparalysen typisch auftreten. Bei einer rechtsseitigen Abducenslähmung will der Patient einen rechts gelegenen Gegenstand fixieren;<sup>1</sup> dabei tritt eine energische Scheinbewegung nach rechts ein. Aufgefordert, etwa mit einem Bleistift rasch nach dem zu fixierenden Objekt zu stoßen, stößt der Patient rechts daran vorbei. Hier ist die obige Erklärung unmöglich. Das gelähmte Auge hat sich nicht bewegt, eine Muskelempfindung konnte nicht auftreten, weil der rect. ext. thatsächlich nichts geleistet hat. Die Netzhautbilder haben sich auch nicht der gewollten Bewegung entsprechend verschoben. Woher also die Scheinbewegung und woher der Fehler beim Stoßen auf den Gegenstand?

Die (übrigens bekannte) Erklärung dieses Phänomens geht wieder von dem Falle aus, in welchem das normale Auge bei einer Blickbewegung keine Verschiebung der Objekte sieht. Nehmen wir an, die Kompensation der scheinbaren Bewegung, welche der Verschiebung der Netzhautbilder an sich entsprechen würde, sei nicht durch Muskelempfindungen veranlaßt, sondern durch den bewußten Impuls zur Rechtswendung, so erledigt sich hiermit der normale und der pathologische Fall. Im normalen Falle bewegen sich die Netzhautbilder so, dafs die Objekte weiter nach links lokalisiert werden müßten; vermöge der bewußten Innervation wird der ganze Sehraum nach rechts dislociert. Ist nun das Ausmaß beider Dislokationen dasselbe, so tritt im Phänomen gar keine Bewegung auf. Im Falle der Abducenslähmung wird nun zwar keine Muskelkontraktion ausgeführt, aber sie wird nichtsdestoweniger intendiert, es findet also die Dislokation des ganzen Sehraumes nach rechts statt, die Netzhautbilder bleiben aber unverrückt, und somit besteht hier der kompensierende Faktor, ohne dafs ein Vorgang da wäre, welcher kompensiert werden könnte; daher die scheinbare Rechtsdrehung des Sehraumes

---

<sup>1</sup> Wir wollen annehmen, nur mit dem rechten Auge.

und in ihrem Gefolge die unpassende Handbewegung, wenn ein Objekt getroffen werden soll.

Die analogen Erscheinungen sind für Augenmuskelparalysen typisch.<sup>1</sup>

Eine weitere hierher gehörige Beobachtung verdanke ich einer brieflichen Mitteilung Hrn. Prof. HERINGS. Im Dunkelzimmer sei nichts sichtbar, als ein hinreichend heller Lichtpunkt; der Beobachter stelle sich so, daß dieses Fixationsobjekt ihm zur Seite liegt, beispielsweise zu seiner Rechten, und zwar in der Weise, daß er es durch die stärkste Rechtswendung der Augen nur eben noch fixieren kann. Zwingt sich der Beobachter zur dauernden Fixation, so fängt der Lichtpunkt sehr bald an, eine Scheinbewegung nach rechts zu machen; und dies um so auffallender, je länger der Beobachter die Fixation fortzusetzen sucht. Das Phänomen erklärt sich analog dem früher beschriebenen. Die starke Anstrengung bei jener extremen Rechtswendung hat sehr bald Ermüdung zur Folge; die Kontraktion des externus entspricht nicht mehr der Intention des Beobachters, und der Muskel verhält sich gegenüber dem Willen wie ein paretischer.

§ 30. Leicht zu beobachten ist es übrigens, daß man im Dunkelraume und beim Mangel eines Fixationspunktes die Augenstellung oft unwillkürlich wechselt, ohne davon etwas zu wissen. Ich habe dies deutlich sehen können an dem Funken, der beim Durchgang eines Kontaktpendels durch die Quecksilberkuppe entsteht (wobei ich mich ebenso wie die Kontaktuhr im Dunkelzimmer befand). Nach einigen Durchgängen gelingt es leicht, den Funken einmal zu fixieren; bemüht man sich nun, diese Augenstellung beizubehalten, damit das nächste Funkenbild wieder auf die Stellen des deutlichsten Sehens falle, so gelingt dies nie für eine nur etwas längere Reihe von Durchgängen. Die Augen vermögen die einmal eingenommene

---

<sup>1</sup> Das beschriebene Verhalten von Individuen mit Augenmuskelparalysen hat MACH am normalen Auge künstlich herbeigeführt. Er dreht die Augen möglichst weit nach links und drückt an die rechten Seiten der Augäpfel zwei große Klumpen von ziemlich festem Glaserkitt gut an. Der Versuch, rasch nach rechts zu blicken, gelingt dann nur sehr unvollkommen, und es tritt eine ausgiebige Scheinbewegung der Objekte in der Richtung nach rechts ein. (Vergl. *Beitr. z. Anal. d. Empf.* S. 57.)

Stellung nicht beizubehalten. Das Merkwürdige an der Erscheinung aber ist, daß der Funken in sehr ausgedehntem Maße seinen scheinbaren Ort wechselt; er springt bald um einige Centimeter höher, dann wieder weiter links oder rechts über. Besonders die Höhenunterschiede waren auffallend.<sup>1</sup> (Sie erklären sich übrigens leicht aus dem Umstande, daß das Pendel sehr hoch aufgehängt war und die zur Fixierung nötige Blickhebung für die Dauer einige Anstrengung erforderte, bezw. nicht lange beibehalten werden konnte.) Die Verschiebung des Funkenbildes auf der Netzhaut wurde also hier auf eine Ortsveränderung des äußeren Objektes bezogen, während sie thatsächlich nur Folge einer Augenbewegung war: die letztere war also unbewußt geblieben, sonst hätte dieser Effekt nicht eintreten können.

Die erwähnten Beobachtungen mögen nur als eine kleine Auswahl von Beispielen gelten, durch die ich zeigen wollte, daß uns Muskelempfindungen auch über Augenbewegungen, die nicht gerade den Konvergenzgrad betreffen, keinerlei Aufschluß geben.

Zum Schlusse erlaube ich mir, Herrn Prof. EWALD HERING für so manchen wertvollen Rat, den er mir bei Ausführung der obigen Untersuchung gegeben, meinen aufrichtigsten Dank zu sagen. Und nicht zum wenigsten danke ich auch den in der Abhandlung genannten Herren für die Sorgfalt und Ausdauer, mit der sie mich durch ihre Beobachtungen zu unterstützen so freundlich waren.

---

<sup>1</sup> Kleine Ortsunterschiede haben bei solchen Kontakten in Wirklichkeit statt, da die Quecksilberkuppe wegen der ungleichen Oxydbildung an ihrer Oberfläche variable Widerstände liefert. Die oben erwähnten Scheinbewegungen haben aber dieses Ausmaß weit überschritten, sie sind also in der That Scheinbewegungen.