

Ueber die Bedeutung der Convergenz- und Accommodationsbewegungen für die Tiefenwahrnehmung.

Von

Maximilian Arrer.

Mit 1 Figur im Text.

Einleitung.

§ 1. In der Psychologie spielen die Convergenzbewegungen für die Frage nach der räumlichen Tiefenschätzung seit Descartes eine wesentliche Rolle. Descartes selbst betrachtete sie als ein Mittel der Tiefenschätzung, allerdings in einer Weise, wie sie den heutigen Anschauungen maßgebender Forscher sehr ferne liegt¹⁾. Dagegen kann gesagt werden, dass seit Berkeley die Convergenzbewegungen bei Physiologen und Psychologen nicht aufgehört haben, diejenige Rolle zu spielen, die ihnen dieser Psychologe und Philosoph schon für die räumliche Tiefenwahrnehmung zuschrieb. An die Augenbewegungen knüpfen sich intensive Empfindungen, die in Folge der Anstrengung, die Augen auf die Gegenstände richtig einzustellen, hervorgerufen werden. Berkeley nennt diese Empfindungen *sensation of straining*, und er kann darunter nichts anderes verstanden haben, als was wir heute Muskelempfindungen des Auges nennen. Diese Muskelempfindungen werden neben anderen wichtigeren Motiven des Tiefensehens durch die Erfahrung zu Zeichen der Tiefe, indem verschiedenen Entfernungen verschieden starke Augenmuskelempfindungen entsprechen²⁾. In dieser Weise wurde die Theorie von fast

1) Descartes, *Dioptrique*, Oeuvres publ. par V. Cousin. V. S. 60 ff.

2) Berkeley, *An Essay towards a new theory of Vision*, Works, edit. by A. C. Fraser. I. S. 37—58.

allen hervorragenden Physiologen und Psychologen der Folgezeit angenommen, und sie hat sich trotz des Wandels sonstiger Anschauungen bis in die heutigen Tage erhalten.

§ 2. Der erste aber, der den Anspruch erheben darf, den Einfluss der Augenbewegungen auf die Ausmessung des Raumes experimentell nachgewiesen zu haben, dürfte Hueck sein. Die Experimente von Hueck suchen allerdings zunächst den Einfluss der Augenbewegungen auf die Lagebestimmung und Distanzausmessung der Objecte festzustellen. War aber einmal ihr Einfluss hier nachgewiesen, so war die Uebertragung auch auf die Tiefenschätzung gewiss erlaubt¹⁾. Hueck scheint auch der erste gewesen zu sein, der vom Standpunkte der Augenmuskelpfindungstheorie aus gewisse abnorme Erscheinungen in der Localisation von Gesichtsbildern zu erklären und damit gleichzeitig diese Theorie auch durch pathologische Erfahrungen zu stützen suchte. Er theilt in der citirten Schrift einen Fall mit, wo in Folge einer Abnormität in dem Musc. obliq. sup. oder infer. des rechten Auges das Netzhautbild dieses Auges immer schief mit dem oberen Ende nach außen gekehrt erschien, und sucht diese Erscheinung durch die bezeichnete Abnormität zu erklären. Hueck's Untersuchungen und Schlussfolgerungen verlieren aber an Bedeutung, weil es für ihn von vornherein feststand, dass alle räumlichen Schätzungen auf Augenbewegungen beruhen, so dass die experimentellen Ergebnisse ohne weiteres als Bestätigungen für die vorausgesetzte Theorie angesehen wurden.

In viel vollkommenerer Weise als Hueck hat Hermann Meyer Experimente angestellt, die den Beweis liefern sollten, dass die Tiefenschätzung aus Convergenzbewegungen und den sie begleitenden Muskelempfindungen zu erklären sei. Zunächst sind es die bekannten Versuche mit dem Tapetenmuster. Blickt man mit convergenter Stellung der Sehachsen auf zwei neben einander liegende gleiche Tapetenfiguren, so erscheint das Sammelbild je nach der Lage des Convergenzpunktes näher oder weiter, und dementsprechend kleiner oder größer²⁾.

In einer späteren Abhandlung theilt Meyer messende Versuche

1) Alex. Hueck, Die Achsendrehung des Auges. Dorpat 1838. S. 20 ff.

2) H. Meyer, Ueber einige Täuschungen in der Entfernung etc. Wunderlich's u. Roser's Arch. f. physiol. Heilkunde, I. 1842.

mit, die er am Wheatstone'schen Spiegelstereoskope gewann, und die seine oben ausgesprochene Ansicht über die Bedeutung der Convergenz der Sehachsen für die Auffassung der Tiefe und Größe noch mehr bestätigen sollten. Meyer brachte an den Seitenwänden eines Wheatstone'schen Stereoskops eine Centimeterscala an, deren Nullpunkt so gelegen war, dass bei parallel gerichteten Sehachsen die von den Nullpunkten kommenden gebrochenen Strahlen parallel in die Augen fielen. Verschoob er nun ein Object von bestimmter Größe längs der Centimeterscala, so konnte er beobachten, wie sich dabei die scheinbare Entfernung und Größe übereinstimmend mit den Convergenzbewegungen der Sehachsen verändern¹⁾.

Die Versuche von Meyer schienen keinen Zweifel mehr darüber zu lassen, dass sich mit der Convergenzänderung auch die Tiefenwahrnehmung ändert, und vollends schien es bewiesen zu sein, dass die Beurtheilung der scheinbaren Größe eines Objectes von der Entfernung, in die es verlegt wird, abhängig ist. Allein einwandfrei waren die Versuche von Meyer auch nicht. Meyer benutzte zu seinen Versuchen zusammengesetzte Gebilde, Tapetenmuster, quadratische Formen, Gebilde, deren Netzhautbilder sich nicht unwesentlich ändern, wenn die Stellung der Augen eine andere wird. Es galt nun, diese Momente so weit als möglich auszuschließen und solche Versuchsbedingungen zu treffen, die einen sichereren Schluss auf die Rolle, die den Einstellungen der Sehachsen bei dem Tiefensehen zukommt, gestatten. Dann aber lag den Schlussfolgerungen von Meyer die Ansicht zu Grunde, dass die scheinbare Größe der Tiefenverschiebung der wirklichen entsprechen müsse, und indem er dies glaubte in seinen Experimenten bestätigt zu finden, zog er erst seine weiteren Schlussfolgerungen. Es galt also, ohne solche Voraussetzungen an die Frage heranzutreten.

Im Jahre 1859 und 1861 veröffentlichte Wundt experimentelle Beobachtungen, die in unzweideutiger Weise den Antheil der Convergenz der Blicklinien an der räumlichen Entfernungsschätzung nachweisen sollten²⁾. Wundt untersuchte zunächst die Tiefenschätzung

1) H. Meyer, Ueber die Schätzung der Größe und Entfernung etc. Poggen-dorff's Annalen XXV. 1852.

2) Wundt, Ueber den Einfluss der Accommodation auf die räumliche Tiefen-

beim monocularen Sehen und dann beim binocularen. Die Ergebnisse beider Untersuchungen waren qualitativ und quantitativ wesentlich verschieden, und da ferner das Object, das dem Beobachter zur Fixation dargeboten wurde, ein dünner Faden, also ein stereoskopischer Effekt, wie Wundt annahm, hier so gut wie nicht vorhanden war, so konnte die Verschiedenheit der gewonnenen Resultate bei sonst gleichen Bedingungen nur aus den Mitbewegungen des anderen Auges, also der Convergenzbewegung beider, erklärt werden. Die Untersuchungen von Wundt ergaben ferner, dass die vorgestellte Entfernung mit der wirklichen nicht übereinstimmt, wie dies Meyer annahm. Endlich hat Wundt auch in die Theorie verändernd eingegriffen. Während nach der bisherigen Theorie die Convergenzempfindungen auf dem Wege der Erfahrung zu Zeichen der Tiefe werden sollten, lehrte Wundt eine Synthese dieser Empfindungen mit den Netzhautindrücken der Objecte, so dass in der räumlichen Vorstellung dieser letzteren die Convergenzempfindungen diejenigen Bewusstseins-elemente seien, welche uns die Anschauung der Tiefe vermitteln.

§ 3. Aber neben dieser Meinung, dass die Convergenzbewegungen für unser Raumbewusstsein durch Actionen der Augenmuskeln, die von Empfindungen gefolgt werden, ihre Bedeutung haben, entwickelte sich eine andere, die gerade den letzthervorgehobenen Punkt niedrig anschlug, oder auch ganz leugnete. Die Bedeutung, welche die Augenmuskelpfindungen für das räumliche Sehen überhaupt, besonders aber für die Tiefenwahrnehmung erlangt haben, entspringt zunächst der Einsicht, dass uns der Gesichtssinn Helligkeiten und Farben vermittelt, die nach dem Zeugniß der inneren Wahrnehmung etwas von dem Inhalt irgend einer Raumvorstellung gänzlich Verschiedenes sind; es kann also die räumliche und vor allem die Tiefenwahrnehmung nicht an die Lichtempfindung als solche gebunden sein. Eine Analogie mit dem anderen Sinnesorgan, das uns ebenfalls räumliche Anschauungen vermittelt, dem Tastsinn, zu suchen, lag nahe genug.

wahrnehmung, in Zeitschr. f. rationelle Medicin von Henle u. Pfeufer. Bd. VIII.; und ebendasselbst Bd. XII: Ueber den Einfluss der Convergenz der Sehachsen auf die räumliche Tiefenschätzung. Es sind diese Abhandlungen in Wundt's Beiträgen zur Theorie der Sinneswahrnehmung 1862 wieder abgedruckt und werden im Folgenden aus diesen citirt.

Und wenn sich am Auge Organe und Verhältnisse finden sollten, die beim Tastsinn unzweifelhaft zur Erzeugung der Raumvorstellung concurriren, so mussten es eben diese sein, die auch an der Hervorbringung der Raumvorstellung beim Gesichtssinn Antheil haben. Schon bei Descartes ist dieser Gedankengang leicht erkennbar: er meint, so wie der Blinde, wenn er die Lage und Bewegungen seiner Hände kennt, aus der Convergenz der Stäbe, mit denen er tastet, auch die Entfernung des betasteten Gegenstandes ermittele, ebenso der Sehende durch die Blickbewegungen seiner Augen¹⁾. Dieselbe

1) Descartes, a. a. O. p. 62. Von der Lage und den Bewegungen der Hände, so wie der Augen, wie endlich jedes der Bewegung fähigen Organs, haben wir ein Bewusstsein durch entsprechende Veränderungen im Centralorgan. Wenn wir unsere Augen oder unseren Kopf nach irgend einer Seite wenden, sagt Descartes, so ist die Seele davon benachrichtigt durch die Veränderungen in den Nerven, die in diejenigen Muskeln eingehen, vermöge welcher jene Bewegungen zustandekommen (S. 60). Aber die Seele erlangt auf diesem Wege nicht nur Kenntniss von der Richtung, nach welcher ein Organ gewendet ist, sondern sie kann auch ihre Aufmerksamkeit auf alle Punkte der Linie übertragen, die die Richtung des Auges repräsentirt. Descartes denkt sich von allen Theilen des Körpers Linien in den Raum ausgehend, nach denen die Eindrücke nach außen verlegt werden. Jeder Nervenfasern der Netzhaut entspricht eine solche Linie. Wie groß aber die Entfernung des so gesehenen Gegenstandes ist, wissen wir noch nicht; die Seele kann wohl, wie bemerkt, auf jeden Punkt der Projectionslinie ihre Aufmerksamkeit übertragen, sie bedarf aber in unserem Falle eines besonderen Hilfsmittels, um die Entfernung genau zu ermitteln. Dieses besondere Mittel ist der Convergenzwinkel; ihn schätzen wir mittelst einer in uns existirenden »natürlichen Geometrie« (S. 62). — Man sieht aus allem dem, dass die Neuerung, die Berkeley in Bezug auf die Convergenzbewegungen der Augen hinzugefügt hat, nicht in der Entdeckung von Augenmuskelempfindungen besteht, sondern dass er den rationalistischen Standpunkt Descartes' mit seinem empirischen vertauschte. — Vergleicht man ferner in unserer speciellen Frage die Ansichten nicht etwa von Le Cat (Traité des sensations 1767, zum ersten Mal 1740, VI. S. 474) oder Porterfield (On the eye, II. S. 388 ff.) mit denjenigen Descartes', sondern von Forschern unseres Jahrhunderts, wie etwa Hueck, der da sagt: um die Entfernung eines vor uns liegenden Objectes zu bestimmen, »messen« wir »ganz trigonometrisch zuerst die Basis oder Standlinie und dann den parallaktischen Winkel oder vielmehr den dazu gehörigen Bogen« (a. a. O. S. 28); oder wie Nagel, dem der Mechanismus ebenfalls »sehr einfach ist, nämlich eine geometrische Construction« (Das Sehen mit zwei Augen, 1861. S. 15, 181 ff.), oder Fick, der die Seele aus den Eindrücken beider Augen wie aus Bausteinen den räumlichen Vorstellungsinhalt im Außenraume regelrecht aufbauen lässt (Lehrbuch der Anatomie und Physiologie der Sinnesorgane, 1864. S. 318 ff.), dann wird man zugestehen müssen, dass der géometrie naturelle noch in unseren Tagen eine große Rolle zukommt.

Argumentation liegt auch den Ausführungen von Berkeley und Anderen zu Grunde. Diese Ueberlegung galt allerdings nur für die Tiefenwahrnehmung. Doch ist klar, dass auf diese Weise die ganze Entstehung des räumlichen Tiefensehens psychologisch, mit Zuhülfenahme der Erfahrung oder sonst wie durch psychische Processe, erklärt wird, gleichviel ob die Vertreter dieser Ansicht mehr einer nativistischen oder einer genetischen Raumentwicklungstheorie huldigen.

§ 4. Die andere Ansicht nahm ihren Ausgangspunkt von Johannes Müller, als dieser die Lehre von den specifischen Energien ausbildete, und nicht nur in Bezug auf die Sinnesqualitäten, sondern in etwas veränderter Form auch auf psychische Inhalte ausdehnte. Bisher war der Unterschied zwischen Nativismus und Empirismus im Raumproblem trotz Berkeley und seiner Schule kaum zu ziehen, er wird aber scharf ausgedrückt durch J. Müller, der die Raumanschauung auch für den Psychologen angeboren, d. h. ein letztes Datum sein lässt¹⁾. Der berühmte Satz von Müller, dass wir überall nur uns selbst räumlich empfinden, ebenso die Netzhaut in ihrer Ausdehnung, ist bekannt. Von diesem Standpunkte bekämpft Müller nicht ohne Ironie den Versuch Steinbuch's, die ganze Raumwahrnehmung mit Zuhülfenahme von Muskelempfindungen zu erklären²⁾. Trotzdem schrieb Müller den Convergenzbewegungen für die Entwicklung der Tiefenwahrnehmung die größte Rolle zu. Von Kindheit an, schreibt er, entwickelt sich das Tiefensehen durch immerwährendes Einstellen der Sehachsen auf die Entfernung des Objectes; die Doppelbilder und das Streben nach Deutlichsehen sind die immerwährend wirksamen Motive zu jenen Convergenzeinstellungen³⁾. Die Ansichten von Müller wurden in der Folgezeit von allen Physiologen mehr oder weniger acceptirt. Als bald aber sollte die Netzhaut noch mehr empfinden, als ihr auch Müller zuschrieb. In seiner ebenso interessanten als bedeutungsvollen Schrift »Physiologische Untersuchungen über das Sehen mit zwei Augen« gelangte Panum auf Grund einer zweifellos richtigen Beobachtung zur Ansicht, dass

1) J. Müller, Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinns. S. 54 ff.

2) Müller, a. a. O. S. 52—55; Steinbuch, Beitrag zur Physiologie der Sinne. Nürnberg 1811.

3) a. a. O. S. 290—294.

die Netzhaut oder vielmehr beide Netzhäute zusammen die Fähigkeit besäßen, die Tiefe unmittelbar zu empfinden¹⁾. Zunächst hebt Panum richtig die Thatsache hervor, dass die binoculare Tiefenwahrnehmung als psychischer Inhalt wesentlich verschieden sei von dem der monocularen Tiefenwahrnehmung. Doch lässt er übertreibend die Unterschiede so groß sein wie die zweier gänzlich von einander verschiedener Empfindungen. Und indem er nun die verschiedenen Bewusstseinsinhalte mit den sie hervorrufenden Processen verwechselt, und, wie viele Andre, den Begriff der Empfindung nicht eindeutig genug definirt, sondern bald in einem engeren bald in einem weiteren Sinne gebraucht, wird von ihm unter der Hand auch die binoculare Tiefenwahrnehmung als eine besondere »Empfindung« eingeführt. Zunächst noch nicht als ein psychologisch schlechthin Einfaches, wie etwa die Farbe, aber doch als ein Inhalt, der als unmittelbare Reaction einfacher physiologischer Prozesse hingestellt wird²⁾. Damit ist aber ein zweifellos zusammengesetzter psychischer Inhalt zu einem relativ einfachen herabgedrückt. Dies schien für das Fernere nothwendig. Stereoskopische und haploskopische Beobachtungen führten Panum zur Aufstellung einiger relativ einfacher, man darf wohl sagen Gesetze über die Lage und das Verhältniss der stereoskopischen Bildprojectionen auf den Netzhäuten, je nachdem ein bestimmter stereoskopischer Tiefeneffect im Sammelbilde entstehen soll. Drängte schon die subjective Verschiedenheit zwischen binocularer und monocularer Tiefenwahrnehmung unmittelbar zur Annahme einer besonderen Empfindungsqualität, die der binocularen Tiefenwahrnehmung zu Grunde liege, so wurden ihm auf der anderen Seite die gefundenen Gesetze des binocularen Tiefensehens objective Hinweise und Anhaltspunkte für die Construction der geforderten Empfindungen. Es sind die Lageverhältnisse der Halbbilder auf den Netzhäuten, die letzten Grundes, wenn sie verschmelzen, die spezifische Tiefenempfindung bedingen. Panum nennt sie in Bezug auf das äußere Object »Ortsempfindungen der Punkte«, welche da stattfinden, »wo die den zusammengehörigen Contouren zukommenden Projectionslinien im äußeren

1) Panum, Physiologische Untersuchungen über das Sehen mit zwei Augen. 1858. S. 85.

2) a. a. O. S. 13.

Räume zusammenstoßen«¹⁾. Und mit Bezug darauf, dass die Projection nach außen eine angeborene, keineswegs angelebte »Empfindungsqualität« sei, schreibt Panum, »kann man diese eigenthümliche Empfindungsweise der Dimension der Tiefe, welche beim Sehen mit zwei Augen entsteht, die Empfindung der binocularen Parallaxe nennen«²⁾.

Dass vom Standpunkte dieser Theorie die Convergenzbewegungen und Muskelempfindungen für das räumliche Tiefsehen überflüssig werden, ist klar. Die einzige, freilich immer noch wesentliche Bedeutung, die ihnen zukommt, »besteht offenbar nur darin, dass sie eine Vergleichung der verschiedenen, auf die Dimension der Tiefe bezüglichen Empfindungen, die bei verschiedenen Augenstellungen vorhanden sind, durch die unmittelbare Aufeinanderfolge erleichtern«³⁾.

Panum bezweckte in seiner Schrift ein doppeltes, einmal das von Wheatstone angeregte Problem weiter zu führen, und dann den psychologischen Raumtheorien entgegenzutreten. Die Erscheinungen der räumlichen Wahrnehmung, besonders aber die der Tiefenwahrnehmung, wurden bis jetzt, so führt er aus, letzten Grundes aus »psychischen Thätigkeiten« erklärt, und die »bequemen und elastischen psychischen Erklärungen« schienen, dank dieser ihrer Eigenschaft, den beobachteten Erscheinungen zu genügen. Aber ein zwingender Grund dafür konnte in keinem Falle erbracht werden. Wenn Erfahrung, Aufmerksamkeit, Phantasie etc., so groß der Einfluss ist, den sie für die Ausbildung der räumlichen Wahrnehmung haben, in jedem einzelnen Falle für den eintretenden Effect maßgebend sein sollen, sollte es da nicht möglich sein, dass sinnliche Empfindungen als primäre Motive räumlichen Sehens jene psychischen Thätigkeiten erst wecken sollten? Solche Ueberlegungen sind es, die Panum veranlassen, den gerügten psychologischen Standpunkt zu verlassen und ihn durch einen mehr physiologischen zu ersetzen. Und in Wahrheit erblickt Panum das Verdienst seiner Schrift außer in der Feststellung neuer Thatsachen ebenso sehr in der »Eroberung eines bisher gewöhnlich der Psychologie vindicirten Terrains für die Physiologie«⁴⁾. Dem gegenüber wird man sich fragen müssen, weshalb Panum die Muskelempfindungen verwirft, da sie doch solche

1) a. a. O. S. 85.

2) a. a. O. S. 85.

3) a. a. O. S. 73.

4) a. a. O. S. 2—16.

sinnliche Empfindungen sind, wie er sie eben forderte? Der Grund davon ist Brücke's Erklärung der Wheatstone'schen Versuche und ihre Widerlegung durch Dove. Wie bekannt nahm Brücke, um die Identitätstheorie zu retten, an, die Augen durchliefen in raschen Parallel- und Convergenczbewegungen die einzelnen Partien des Bildes, so dass ihre einzelnen Bildpunkte in Horopterkreise fallen, sich auf identischen Stellen abbilden und dann durch Verschmelzung den stereoskopischen Effect erzeugen¹⁾. Die Wahrnehmung der Entfernung führte Brücke auf Muskelempfindungen zurück. Nun zeigte aber Dove, dass der stereoskopische Effect auch bei instantaner elektrischer Beleuchtung eintritt, wo die Zeit viel zu kurz ist, um Convergenczbewegungen ausführen zu können²⁾. Dieses Resultat von Dove war für Panum maßgebend: ist ein stereoskopischer Effect auch dann noch möglich, wenn Convergenczbewegungen ausgeschlossen sind, und in Folge davon auch Muskelempfindungen fehlen, so ist damit klar gemacht, dass solche Empfindungen für das Tiefensehen überhaupt von keiner Bedeutung sind³⁾. Diese Ueberlegungen dürften es wahrscheinlich auch erklären, warum Panum über Lotze und Meißner hinweggeht, obwohl er bei diesen Männern seine Forderungen für den Ausbau einer Theorie des räumlichen Sehens deutlich ausgesprochen und durchgeführt vorfindet, aber allerdings mit Heranziehung der Augenmuskelempfindungen. Man wird daher annehmen können, dass es Panum von vornherein auf Grund der Wheatstone'schen und seiner Versuche wahrscheinlich schien, das räumliche Sehen sei, physiologisch betrachtet, ausschließlich eine Function der Netzhaut und ihrer centralen Apparate.

Dieser Standpunkt wurde dann in seiner Allgemeinheit von Hering aufgenommen, physiologisch und psychologisch ausgebildet und bis ins Einzelinste consequent durchgeführt. Von diesem Standpunkte aus kommt nach Hering jeder durch die Reizung eines Punktes auf der Netzhaut ausgelösten Empfindung auch noch eine Sehrichtung zu. Diese wird unmittelbar durch den Lichtreiz ausgelöst, so dass »eine jede von einem beliebigen Netzhautpunkte her

1) Müller's Archiv f. Anat. u. Physiol. 1841. S. 459 ff., 468.

2) Dove, Berliner Akademieberichte. 1841. S. 252.

3) a. a. O. S. 83.

im Sensorium ausgelöste Empfindung . . . sozusagen . . . aus einer Lichtempfindung und einem Raumgefühl« gemischt ist¹⁾. Solcher Raumgefühle, oder mit Rücksicht auf die Netzhautpunkte, von denen her sie ausgelöst werden, »Raumwerthe«, gibt es dreierlei: Breiten-, Höhen- und Tiefenwerthe bez. -Gefühle. Diese Benennungen sind offenbar Meißner entlehnt. Aber während für Meißner die für das Sehorgan bestehende »Empfindungseinheit«, deren jeder »ein bestimmter Werth in der Dimension der Breite, Höhe und Tiefe zukommt«²⁾, ein Gebilde aus zwei bekannten oder doch näher angebbaren Factoren ist: der Lichtempfindung und dem Localzeichen, das seinem Entstehen und seinem Begriffe nach ganz so gedacht ist wie bei Lotze, außer dass Meißner den Muskelempfindungen durch das Heranziehen von Convergenzempfindungen auch auf das Tiefensehen doch eine größere Rolle zuschreibt als sein Vorgänger³⁾, sind bei Hering diejenigen Bestandtheile der »Empfindung«, die ihren Raumwerth ausmachen, auch wieder nur Functionen des nervösen Sehapparates und seiner centralen Theile. Für Hering kommen also irgend welche Muskelempfindungen durch Augenbewegungen ebenso wenig wie für Panum in Betracht: die Tiefenlocalisation ist bedingt durch die jedem Punkt zukommenden Richtungs- und Tiefengefühle. Aber diese erhalten ihre Bestimmung von der Netzhautgrube aus, sie sind alle nur relative Werthe. Die Projectionslehre, die bei Panum auf die Frage nach der absoluten Tiefenlocalisation noch eine Antwort gab, verwirft Hering ganz. Alles Tiefensehen, sagt er, geschieht relativ zur »Kernfläche« des Sehraumes, die ungefähr im Convergenzpunkt der Blicklinien gesehen wird, aber nicht etwa weil wir sie durch Muskelempfindungen dorthin verlegen, sondern weil wir bei willkürlich intendirten Augenbewegungen eine ungefähre Kenntniss von den Lagen unserer Augen und dem Schnittpunkt ihrer Sehachsen haben⁴⁾. Die Muskelcontractionen selbst erzeugen keine Muskelempfindungen, die auf das räumliche Tiefensehen Bezug hätten⁵⁾. In den meisten Fällen aber ist es die Erfahrung im weitesten Sinne, sind es also die secundären Motive der Tiefenlocalisa-

1) Hering, Beiträge zur Physiologie. 1864. V. S. 289 f.

2) Meißner, Beiträge zur Physiologie des Sehorgans. 1854. S. 99.

3) Meißner, a. a. O. S. 108 ff.

4) Hering, a. a. O. S. 135 ff.

5) a. a. S. 31, 316.

tion, die die Lage der Kernfläche bestimmen. Ist dies geschehen, so werden die Augenbewegungen durch die Richtungs- und Tiefenwerthe der Netzhaut regiert. Als Anhänger und hervorragendster Vertreter der Identitätslehre schreibt Hering je zwei identischen Punkten der Doppelnetzhaut eine einfache Empfindung und eine gemeinsame Sehrichtung zu. Alle Punkte, die näher als die Kernfläche erscheinen, haben einen relativen Nahwerth, umgekehrt alle diejenigen, die ferner erscheinen, einen relativen Tiefenwerth. Nach dieser Bestimmung der Nah- und Tiefenwerthe kommen identischen Punkten entgegengesetzte Tiefenwerthe zu, symmetrische Punkte dagegen haben identische Tiefenwerthe, aber gegensinnige Richtungswerthe. Ist ein Lichtreiz gegeben und bildet sich der Punkt auf identischen Stellen ab, so ist damit auch das zugehörige Richtungsgefühl gleichzeitig vorhanden, das eine gleichsinnige Bewegung der Augen auslöst. Der Ort, wo der Punkt erscheint, entspricht der Differenz der entgegengesetzten Tiefenwerthe der identischen Stellen, und da diese in diesem Falle = 0 ist, so erscheint er in der Kernfläche des Sehraumes. Bildet sich der objective Lichtpunkt auf nichtidentischen Stellen aber identischen Hälften der Doppelnetzhaut ab, so werden wieder gleichsinnige aber ungleich große Augenbewegungen ausgelöst, und da ferner die Tiefenwerthe verschieden groß sind, so wird der Punkt, falls er einfach gesehen wird, vor oder hinter der Kernfläche erscheinen, je nach der Lage der Halbbilder auf der Netzhaut. Symmetrisch gelegene Punkte endlich haben entgegengesetzte und gleichgroße Richtungswerthe, ihre Antriebe zur Bewegung müssten sich aufheben, da aber ihre Tiefenwerthe auch entgegengesetzt sind, so erfolgt eine gegensinnige Bewegung nun auf Antrieb dieser, und sofern endlich ihre Tiefenwerthe gleich groß sind, erscheint der Punkt auf der Kernfläche des Sehraumes¹⁾. So sind es also die Richtungs- und die Tiefenwerthe, welche die Bewegungen des Doppelauges leiten. Es ist daher irrig zu meinen, dass die Bewegungen der Augen die Tiefenwahrnehmung bedingen, vielmehr: die Tiefenwahrnehmung erzeugt die »Tiefenbewegung des Doppelauges, nicht umgekehrt«²⁾.

1) Hering, a. a. S. S. 317 ff.

2) Hering, a. a. O. S. 320.

§ 5. Die Lehre von den Augenmuskelempfindungen wurde in ihrer Bedeutung für das räumliche Tiefensehen am meisten von Wundt ausgebildet und von Hering gleichzeitig auf das entschiedenste bestritten. Die Gegensätze waren die größtmöglichen und sind es noch heute.

Beide Ansichten haben sich wechselseitig mannigfache Widersprüche vorgeworfen. Von den Einwänden, die gegen Hering's Theorie erhoben wurden, ist für uns hier nur einer von Interesse, nämlich der Einwand, es gebe in der Theorie keine Motive für die Localisation der Kernfläche, wenn die erfahrungsmäßigen Motive ausgeschlossen seien¹⁾. Eine bestimmte Theorie, wie die »Raumgefühle« psychologisch zusammenhängen, hat Hering nicht gegeben. Und seinen nativistischen Standpunkt zu kritisiren liegt außerhalb der Aufgabe dieser Arbeit. So viel ist sicher, dass Hering die Bewusstseinsinhalte mit den psychischen Processen verwechselt und die wahre Aufgabe der Psychologie zum Theil verkennt. Die nativistischen Raumtheorien würden wahrscheinlich überhaupt aufhören in der Wissenschaft zu existiren, wenn jene Verwechslung nicht stattfände. Dass auch der Psycholog zunächst die fertige Raumanschauung hat, dass sie auch ihm für seine Untersuchung gegeben ist, ist sicher; ob damit aber sein Geschäft erledigt sei, ist eine andere Frage, deren Lösung nicht zum wenigsten von der Begriffsbestimmung der Psychologie selbst und der Feststellung ihrer Aufgaben abhängt.

Die Ansichten von Wundt, sofern sie auch psychologisch klar ausgebildet sind, haben nach beiden Seiten, nach der experimentellen wie nach der theoretischen, Einwände hervorgerufen. Einen ersten Einwand erhob sogleich Hering. Wenn die Tiefenlocalisation von der Convergenzstellung der Blicklinien abhängt, so müsste, meint er, der Gegenstand im Convergenzpunkt gesehen werden, d. h. auf seinem richtigen Orte. Dass dies aber nicht der Fall ist, dass wir auch binocular die absolute Entfernung nicht schätzen können, hebt auch Wundt hervor²⁾, aus welchem Zugeständniss Hering die Schluss-

1) C. Stumpf, Ueber den psychologischen Ursprung der Raumwahrnehmung. Leipzig 1873. Ich führe die Einwände hier bloß an, sie werden später im Text ausführlicher zur Sprache kommen.

2) a. a. O. S. 193.

folgerung zieht, dass die Tiefenlocalisation eben nicht nach der Convergenz der Sehachsen geschehe¹⁾. Ein zweiter Einwand wurde sodann von Helmholtz erhoben. Bei den Versuchen von Wundt könnten sich möglicherweise die Augen gar nicht bewegt haben, sondern mit der Weiter- und Näherrückung des Fadens bloß das Netzhautbild verschoben worden sein und danach der Beobachter die Tiefe beurtheilen²⁾. Sodann bemerkte Aubert, in Wundt's monocularen Versuchen könne nicht mit Sicherheit angenommen werden, dass die Convergenzstellung der Sehachsen ausgeschlossen war, wie Wundt dies annahm. Aubert schreibt: »wenn ich auch nur mit einem Auge sehe, so habe ich doch immer noch eine Empfindung davon, ob meine Augenachsen stark oder schwach convergiren«³⁾. Endlich hat in neuester Zeit Franz Hillebrand Versuche mitgetheilt, die in Bezug auf die Accommodations- und Convergenzempfindungen für die Tiefenschätzung scheinbar ein gänzlich negatives Resultat ergaben⁴⁾.

Außer diesen Einwürfen nach der Seite der Versuche selbst wurden noch andere nach der theoretischen Seite erhoben. Nach Wundt's theoretischer Ansicht ist die Raumvorstellung ein synthetisches Verschmelzungsproduct aus mannigfachen Elementen, unter denen die Accommodations- und Convergenzempfindungen diejenigen ursprünglichen Elemente sind, welche in diesem Verschmelzungsproduct für unser Bewusstsein die Beziehung nach der Tiefe des Raumes zum Ausdruck bringen⁵⁾. Ohne die Bedeutung der Augenmuskelempfindungen für die Tiefenwahrnehmung zu verkennen, wenden sich Stumpf⁶⁾ und Lipps⁷⁾ gegen den von Wundt angenommenen psychischen Process. Endlich hebt Wundt in seinen Beiträgen selbst

1) Hering, a. a. O. S. 135 ff.

2) Helmholtz, Physiologische Optik. I. Aufl. S. 651; II. Aufl. S. 797.

3) Aubert, Physiologie der Netzhaut. 1865. S. 328.

4) Fr. Hillebrand, Das Verhältniss von Accommodation und Convergenz zur Tiefenlocalisation. Zeitschr. f. Psychologie u. Physiologie der Sinnesorgane, herausg. von H. Ebbinghaus und A. König. Bd. VII.

5) Wundt, Beiträge. S. 443.

6) Stumpf, Ueber den psychologischen Ursprung der Raumvorstellung. 1873. S. 106.

7) Th. Lipps, Die Raumanschauung und die Augenbewegung. Zeitschr. f. Psychologie u. Physiologie der Sinnesorgane, herausg. von H. Ebbinghaus und A. König. Bd. III.

hervor, dass seine Versuche an Zahl gering sind, und in Folge dessen vielleicht auch manche Ungenauigkeit enthalten¹⁾.

So ist denn Grund genug vorhanden gewesen, diese Versuche einer erneuten Prüfung zu unterziehen, die Argumente für und wider durchzugehen, um womöglich zu einem gesicherteren Ergebniss zu gelangen. Dies ist die Aufgabe der folgenden Untersuchungen.

Capitel I.

Versuche über die Wahrnehmung von Tiefenunterschieden bei successiver Vergleichung.

a. Versuchsbedingungen und ihre Anordnung.

§ 6. Wundt hat auf den thatsächlichen Einfluss der Convergenzbewegungen auf die Tiefenlocalisation, bei Ausschluss aller sonst durch die Erfahrung bekannten Motive, aus Versuchen bei monocularer und bei binocularer Sehen geschlossen. Dies schien durch gewisse Verhältnisse von selbst geboten zu sein. Man schrieb der Accommodation die Fähigkeit zu, durch Muskelempfindungen Aufschluss über die Entfernung der Objecte zu geben. Thut sie dies, so muss es in gleichem Maße geschehen, ob monocular oder binocular gesehen wird, für die Convergenzbewegungen dagegen schien ähnliches nicht gelten zu können. Denn die hauptsächlich von Porterfield und Müller vertretene Ansicht, Accommodation und Convergenz ständen in solcher physiologischer Association, dass unter allen Umständen, wenn nur ein Auge einen Punkt fixirt, auch das geschlossene mit seiner Blicklinie genau auf denselben Punkt eingestellt ist, war durch Volkmann als unzutreffend nachgewiesen worden²⁾. Hierauf, wie auch auf die Untersuchungen von Donders³⁾ und Czermak⁴⁾

1) a. a. O. S. 415.

2) Volkmann, Neue Beiträge zur Physiologie des Gesichtssinnes. 1836. S. 147 f.

3) Donders, Nederlandsch Tijdschrift voor Geneeskunde, 1857, citirt nach Wundt, Beiträge. S. 187.

4) Gesammelte Schriften von Joh. Nep. Czermak. Leipzig 1879. Bd. I. Abth. 1. S. 243 ff. (Zum ersten Male veröffentlicht 1854/55 in den Wiener Akademieberichten.)

gestützt, denen es gelang, innerhalb ziemlich weiter Grenzen die Accommodation und Convergenz von einander unabhängig zu verändern, nahm Wundt an, dass beim monocularen Sehen, und besonders in den von ihm ausgeführten monocularen Versuchen, wo das Fixationsobject immer in der gerade nach vorn gerichteten Sehachse verblieb, die Convergenz wie auch jede andere äußere Augenbewegung ausgeschlossen sei¹⁾. Auf der andern Seite führen gewisse Thatsachen zu der Annahme, dass, sofern ein gewisses Zusammengehen von Accommodation und Convergenz besteht, in der Regel nicht die Convergenz nach der Accommodation, sondern umgekehrt diese nach jener sich richtet. Die hauptsächlichste Thatsache, die darauf hinweist, ist, dass sowohl die Accommodation als auch die Convergenz durch gewisse distincte Punkte und dominirende Linien im Gesichtsfelde regiert werden. Reflexartig wird ein solcher dominirender Punkt auf die Stelle des deutlichsten Sehens übergeführt, und ebenso reflexartig wird auf ihn accommodirt. Aber jener erstere Zusammenhang ist ein unmittelbarer als dieser letztere; es geschieht ferner jene erstere Bewegung schneller als diese zweite; und es geht endlich die Ueberführung des seitlich sich auf der Netzhaut abbildenden Punktes zur Fovea in gewissem Betracht der Accommodation voran. Auf Grund solcher Betrachtungen erklärt Wundt die Entstehung des Zusammenhanges zwischen Convergenz und Accommodation durch physiologische Uebung unter der Herrschaft für beide gleichartig wirkender Motive (der dominirenden Punkte und Linien)²⁾. Für monoculare und binoculare Versuchsreihen würde daraus und aus dem Vorgehenden folgen erstens, dass, wenn die Erkennung von Tiefenunterschieden beim monocularen und beim binocularen Sehen durch Accommodationsbewegungen bedingt wäre, kein Unterschied zwischen beiden Versuchsreihen sein dürfte, und zweitens, wenn ein solcher vorhanden ist, so wird er durch die Convergenzbewegungen beim binocularen Sehen zu erklären sein.

§ 7. Dem Beispiele Wundt's folgend habe auch ich die Versuche monocular und binocular ausgeführt. Dies bedarf gegenüber einem jüngst erhobenen Einwande einer besonderen Rechtfertigung.

1) Wundt, Beiträge, S. 123.

2) a. a. O. S. 188 f.

In seiner schon erwähnten Abhandlung hebt Hillebrand hervor, binoculare Versuche über die Tiefenschätzung auf Grund der Convergenz seien ungeeignet, weil die Disparation der Bilder hier nicht ausgeschlossen, sie aber ein weit besseres Mittel der Tiefenschätzung als irgend ein anderes sei. Es dürften demnach die Versuche nur monocular ausgeführt werden. Und dies genüge auch, denn die physiologische Association zwischen Accommodation und Convergenz bringe es mit sich, dass sich mit jeder Aenderung des Accommodationszustandes auch die Convergenz entsprechend ändere. Die von Volkman, Donders, Czermak u. A. nachgewiesene Thatsache, dass der Zusammenhang zwischen Accommodation und Convergenz kein unlösbarer sei, habe hier nichts zu bedeuten, da jene Lösung nichts normales sei, sondern immer erst durch Anwendung künstlicher Mittel (Donders) oder durch absichtliches Einüben (Czermak) erfolge, während die Association sonst immer bestehe. Daraus folge dann, dass, wenn man die Leistung der Accommodation für das Erkennen von Tiefenunterschieden untersuche, damit auch die Leistung der Convergenz implicite untersucht werde¹⁾. Was den ersten Einwand anlangt betreffs der Disparation beim binocularen Sehen, so soll auf ihn erst bei einer späteren Gelegenheit eingegangen werden²⁾. Was Hillebrand an zweiter Stelle vorbringt, dass nämlich mit der Untersuchung der Leistung der Accommodation für die Tiefenschätzung gleichzeitig auch die der Convergenz untersucht werde, trifft im allgemeinen sicher zu. Einmal weil, wie Hering nachwies, die Innervation des bewegten Doppelauges für beide Theile eine gemeinsame ist³⁾, denn bei allen diesen Versuchen sind Augenbewegungen nicht ausgeschlossen, und dürfte das überhaupt schwer zu erreichen sein, einfach weil der Beobachter seine Augen nicht ruhig hält und nicht ruhig halten kann, ohne in kürzester Zeit zu ermüden; und ferner, weil unter normalen Umständen⁴⁾ doch innerhalb ziemlich enger Grenzen Accommodation und Convergenz übereinstimmen. In Anbetracht der Thatsache aber, dass Wundt's monoculare und binoculare Versuche in wesentlichen Punkten verschiedene Resultate ergaben, und weil über-

1) Hillebrand, a. a. O. S. 104.

2) S. unten Cap. II, c. und e.

3) Hering, Die Lehre vom binocularen Sehen. 1868. S. 6 ff.

4) S. unten Cap. II, e.

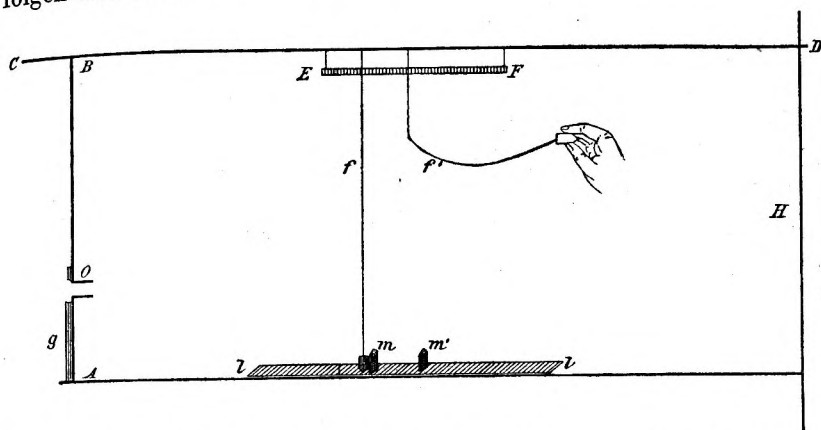
dies die Bedingungen der Association von Accommodation und Convergenz in Bezug auf das causale und demzufolge wohl auch auf das zeitliche Verhältniss beider verschiedene sind¹⁾, ist es jedenfalls nothwendig beide Versuchsweisen von neuem zu prüfen.

§ 8. Um den Einfluss der Convergenz der Blicklinien auf die räumliche Tiefenwahrnehmung experimentell zu untersuchen, hat Wundt folgende Versuchsanordnung getroffen: Hinter einer Wand saß die Versuchsperson und konnte nur durch eine innen geschwärzte Röhre auf einen ziemlich entfernten gleichmäßigen weißen Hintergrund blicken. Als Object diente ein dünner schwarzer Faden, der frei im Gesichtsraume, durch ein kleines Gewicht beschwert, herabhängend und an einer Centimeterscala verschiebbar war. In einer ersten Reihe von Versuchen wurde immer nur dieser eine Faden benutzt. Der Beobachter blickte zunächst durch die Röhre nach dem Faden, wendete dann, während derselbe an der Scala verschoben wurde, den Blick von der Röhre ab, und sah hierauf wieder hinein, um die Entfernung des nun nach der Tiefe verschobenen Fadens mit der im Gedächtniss behaltenen zu vergleichen und zu bestimmen. Dabei wurde darauf geachtet, dass die Verrückung des Fadens so rasch als möglich und immer in gleichlanger Zeit geschah.

Die beschriebene Versuchsanordnung wurde auch in den im Folgenden mitzutheilenden Versuchen im allgemeinen benutzt, jedoch mit einigen wesentlichen Verbesserungen, die mir Herr Professor Wundt selbst vorschlug. Vor allem sollten nicht ein, sondern zwei Fäden benutzt werden. Ein noch so dünner und gleichmäßig gearbeiteter Faden enthält doch immer Fäserchen und kleine Unregelmäßigkeiten, die vielleicht als Kriterien der Vergleichung dienen könnten. Benutzt man aber zwei gleich dünne Fäden, so dass der eine, und zwar nicht immer derselbe, als Normalfaden bez. Normaldistanz dient, der andere als Vergleichsdistanz, so können jene geringen Unregelmäßigkeiten, wenn sie auch bemerkbar sein sollten, doch nicht als Urtheilskriterien verwendet werden. Um aber auch bei solcher Anordnung in möglichst kurzer Zeit die Vergleichsdistanz herzustellen, waren noch einige andere Veränderungen erforderlich. Alle diese berücksichtigt, gestaltete sich die neue von Herrn Pro-

1) S. unten § 34 ff.

fessor Wundt mir vorgeschlagene technische Versuchsanordnung folgendermaßen:



AB ist eine mit mattschwarzem Papier überzogene Wand, die in der Augenhöhe des Beobachters einen innen geschwärtzten Tubus trägt (o). Der Tubus war 80 mm breit und 40 mm hoch, nach der Tiefe war er zu verlängern und zu verkürzen. Der hintere Ausschnitt des Rohres war dann immer ein solcher, dass das durch den gleichmäßigen grauen Hintergrund H ausgefüllte Gesichtsfeld ungefähr gleiche Breite und Höhe besaß. Bei g befindet sich eine Kinnstütze. Zwischen den gegenüberstehenden Wänden eines 5,50 m langen Zimmers, dessen Beleuchtung eine günstige ist, ist ein ziemlich starker Draht CD gespannt. An diesem Drahte ist beweglich aufgehängt ein aus dünnem Holz gefertigtes Lineal von einem halben Meter Länge. Durch metallene Oesen leicht beweglich, aber den Draht CD gut umfassend, hingen an demselben die Fäden f und f' herab, beide durch conische und mit langen Seiten ausgestattete Stahlgewichte beschwert. Die technische Arbeit des Experimentators bestand nun in folgendem: das Gesichtsfeld des Beobachters ist durch einen vor dem Tubus aufgestellten Schirm zunächst verdeckt. Nachdem die Distanz, für welche die Unterscheidungsfähigkeit untersucht werden soll, abgemessen war, wurde der Faden f eingestellt, und gleichzeitig auch f' auf eine etwas größere oder geringere Entfernung (in Fällen, wo die Entfernung dieselbe blieb, wurde der zweite Faden abgehängt). War alles in beschriebener Weise vorbereitet, so hob der Experimentator den die Vergleichsdistanz markirenden Faden auf und hielt ihn,

während er das Gesichtsfeld des Beobachters öffnete, mit der Hand oberhalb des Bereiches desselben. Hatte sich der Beobachter eine genügend klare Vorstellung von der Entfernung des sichtbaren Fadens gebildet, so gab er dies dem Experimentator durch ein »jetzt« zu erkennen, und schloss gleichzeitig die Augen. Sofort ließ der Experimentator mit der einen Hand den hoch gehaltenen Faden herab, während er den ersten gleichzeitig mit der anderen aufhob, worauf auf ein »jetzt« von Seiten des Experimentators der Beobachter die Augen wieder öffnete und durch das Blickrohr nach dem Faden sah. Der rasch herabgelassene Faden konnte nicht pendeln, denn das an ihm befestigte Stahlgewicht wurde sofort beim Herablassen durch einen genügend starken prismatisch geschnittenen Magneten festgehalten. Die Magnete m und m' standen auf einem breiten und gleichmäßig flachen Metermaßstab, dessen Theilstriche vor dem Versuche in genaue Uebereinstimmung mit dem am Drahte aufgehängten Maßstabe gebracht wurden.

Bei dieser Versuchsanordnung, wo immer gleichzeitig zwei gleichdünne Fäden benutzt wurden, ist der Uebelstand, der bei Verwendung nur eines Fadens auftritt, dass Fasern und Unebenheiten des Fadens zu bewussten Kriterien der Vergleichung dienen, beseitigt¹⁾.

Außer dass mir Herr Professor Wundt diese ganze Versuchsanordnung vorschlug, ließ er mir auch noch an manchen anderen Stellen seinen werthvollen Rath zu Theil werden, und so folge ich nur einem inneren Drange, meinem hochverehrten Lehrer meinen tiefsten Dank hier auszusprechen.

Die Herren, die die Güte hatten, an diesen Untersuchungen Theil zu nehmen, waren: Herr Prof. Külpe, derzeit Professor der Philosophie an der Universität Würzburg; Herr Dr. Armand Thiéry, Assistent am psychologischen Laboratorium in Brüssel (Verfasser der Abhandlung »Ueber geometrisch-optische Täuschungen« in Wundt's Philos. Studien, Bd. XI, Heft 3 u. 4 und Bd. XII, Heft 1); Herr Dr. Alexander Spitzer, Assistent an der psychiatrischen Klinik des Herrn Prof. v. Kraft-Ebing in Wien; Herr Nicolaus Ussow, jetzt Privatdocent in Petersburg; Herr Dr. Friedrich Kiesow, damals 2. Assistent am psychologischen Laboratorium in Leipzig,

1) Hillebrand, a. a. O. S. 112, 117.

jetzt in Turin; Herr cand. phil. E. A. Taylor (England); Herr J. Phl. Fruit (Amerika); Herr G. E. Tawney, cand. phil. (Amerika). Gelegentliche Beobachtungen wurden noch angeführt von den Herren Dr. Meumann, G. D. Hicks, cand. phil. (England), und Dr. A. Hoch (Amerika). Allen diesen Herren sage ich meinen besten Dank für ihre freundliche und ausdauernde Mitarbeit.

b. Monoculare Versuche.

§ 9. Wundt beginnt die Darstellung seiner monocularen Versuche mit einer Beschreibung davon, wie sich das Subject verhalte, wenn es zum ersten Male an diese Versuche herantrete, d. h. was es sehe, wenn es zum ersten Male durch das Blickrohr des beschriebenen Apparates blickt. Dies ist unbedingt erforderlich, da, wie ich später näher mittheilen werde, das Verhalten des Beobachters sich in relativ kurzer Zeit sehr ändert. Wundt schreibt: »Man überzeugt sich bei diesen Versuchen sogleich, dass es in denselben durchaus unmöglich ist, über die absolute Entfernung irgend etwas auszusagen. Vor allem erscheint die weiße Fläche, auf die man blickt, in gänzlich unbestimmter Weite, man weiß nicht, ob sie dicht vor der geschwärzten Röhre oder in mehr oder minder großer Ferne sich befindet. Ist nun zwischen der weißen Fläche und dem Auge ein schwarzer Faden aufgehängt, so lässt sich auch über dessen Entfernung — wenn man nicht seine Dicke etwa vorher kennt — nicht das geringste bestimmen: er erscheint als ein schwarzer Strich, der auf der weißen Fläche gezogen ist. Nur wenn der Faden sich sehr weit oder sehr nahe befindet, lässt sich dies erkennen . . .«¹⁾.

Diese Beschreibung gilt für alle meine Beobachter und mich in gleichem Maße, nur Herr Dr. Spitzer verhielt sich, wie gleich erwähnt werden soll, etwas anders.

So lange der Beobachter in der von Wundt beschriebenen Weise so zu sagen gar kein Urtheil über die Entfernung des Fadens von sich hat, ist auch eine relative Entfernungsschätzung kaum möglich. Nur wenn der Faden um so viel verschoben wird, dass eine deutliche Veränderung seines scheinbaren Durchmessers erkannt wird,

1) Wundt, a. a. O. S. 107.

schließt der Beobachter auf eine Verschiebung nach der Tiefe; manchmal wird diese gesehen, weit öfters aber nur erschlossen. Mit dem letzteren steht ein anderes Verhalten im Zusammenhange, nämlich dass häufig trotz der scheinbaren Erkenntniss, dass sich der scheinbare Durchmesser verändert hat, mit dem Urtheil doch zurückgehalten wird, oder sogar eines der scheinbaren Veränderung des Durchmessers des Fadens widersprechendes Urtheil abgegeben wird. Womit das alles zusammenhängt, wie es zu erklären ist, darüber später. Sofern aber das beschriebene Verhalten des Beobachters nicht vereinzelt auftrat, sondern sich häufig genug wiederholte, darf schon jetzt daraus geschlossen werden, dass es nicht, oder jedenfalls nicht durchgehends, die scheinbare Dicke des Fadens ist, wonach bei diesen Versuchen die Verschiebung nach der Tiefe erkannt wird.

§ 10. Erst allmählich, aber immerhin relativ schnell, manchmal innerhalb einer Versuchsreihe von 10—20 Einzelversuchen, lernt der Beobachter die Einstellungen des Objectes in verschiedenen Entfernungen unterscheiden, zunächst noch unbestimmt nach ihrer absoluten Entfernung, aber jede folgende relativ zur vorangehenden. Erst als dieses Stadium erreicht war, begann ich die Versuche in systematischer Weise auszuführen. Ich bediente mich der Methode der Minimaländerungen mit doppelter Abschreitung. Dabei hielt ich für die verschiedenen einzelnen Normaldistanzen, für welche es galt, die Unterscheidungsfähigkeit in der Tiefenverschiebung zu untersuchen, nicht die gleiche Zahl von Zwischenstufen zwischen »gleich« und »deutlich verschieden«, d. h. weiter oder näher, ein. Dies war unnöthig und auch unmöglich, da bei gewissen geringen Entfernungen die Unterscheidungsfähigkeit so gross ist, dass der Apparat ein Einschieben von mehreren Zwischenstufen nicht erlaubte. Wird ferner bei der Methode der Minimaländerungen ein doppeltes Abschreiten nach einer oberen und einer unteren Grenze vom Normalreiz erst als eine ganze Versuchsreihe angesehen, so habe ich auch das nicht durchgehends ohne Unterbrechung eingehalten. Um dies zu thun, hätte ich die Erhaltung der Gleichmäßigkeit der psychischen Disposition des Beobachters preisgeben müssen, denn es tritt bei diesen Versuchen sehr schnell Ermüdung ein, aber nicht gleichmäßig, sondern je nach der Größe der Entfernungen. Da ich glaubte auf die Erhaltung einer gleichmäßigen Disposition bei dem Beobachter achten zu müssen

so trennte ich besonders bei fernerer Distanzen die einheitliche Versuchsreihe in zwei Theile, indem ich zwischen die doppelte Abschreitung nach einer oberen und unteren Grenze (Entfernung und Annäherung) eine kleine Pause (3—4 Min.) einschob. Zwischen je zwei vollständigen Versuchsreihen lag immer eine größere Zeit zum Ausruhen (ungefähr 10 Min.).

§ 11. Um genaue Zahlenwerthe für die Annäherungs- und Entfernungsschwelle zu erhalten, hätte ich eine sehr große Zahl von Versuchen anstellen müssen, was sehr viel Zeit erfordert hätte. Statt dessen habe ich bei den Beobachtern, die mir durch ihre Güte längere Zeit zur Verfügung standen, alle in den folgenden Tabellen angegebenen Distanzen nur zweimal geprüft und demnach auch beide in dieser Weise erhaltenen Schwellenwerthe angegeben. Nur mit Herrn Thiéry wiederholte ich die Versuche viermal, zog aus ihnen das Mittel und gab dazu die größte und kleinste Abweichung an. Damit ist gesagt, dass die in den Tabellen niedergelegten Zahlen nicht absolut gelten. Immerhin wird man bemerken, dass die Verschiedenheiten zwischen den angegebenen Versuchsreihen nicht nur eines und desselben Beobachters, sondern auch aller untereinander nicht groß sind.

§ 12. Im Folgenden reproducire ich zunächst die Ergebnisse von Wundt, bringe dann in den darauf folgenden Tabellen die eigenen Versuche, um endlich beide mit einander zu vergleichen.

Wundt stellte seine Versuche an einer Person an, deren Auge etwas fernsichtig war und ein beschränktes Accommodationsvermögen hatte: sein Fernpunkt lag 250, sein Nahepunkt 40 cm vom Auge entfernt. Solche Augen, meint Wundt, sind für die Untersuchung der monocularen Tiefenlocalisation am geeignetsten, weil sie innerhalb eines beschränkten Raumes alle Verhältnisse der Tiefenschätzung diesseits, jenseits und innerhalb des Accommodationsbereiches zu erkennen gestatten. Die numerischen Ergebnisse, die Wundt an dem beschriebenen Auge fand, sind folgende¹⁾ (die Zahlen bedeuten Centimeter):

¹⁾ Wundt, Beiträge, S. 114; Grundzüge der Physiologischen Psychologie. 4. Aufl. II. S. 107.

<i>D</i>	<i>Sa</i>	<i>Se</i>
40	4,5	4,5
50	4,5	6,5
80	5	7
100	8	11
180	8	12
200	8	12
220	10	12
250	12	12

D bezeichnet die Entfernung des Fadens vom Auge, *Sa* die Annäherungsschwelle, *Se* die Entfernungsschwelle. Ferner ergab sich, dass jenseits des Fernpunktes sowohl die Entfernung als die Annäherung erst dann erkannt wurde, wenn sich der scheinbare Durchmesser des Fadens bereits um ein merkliches verändert hatte. Diesseits des Nahepunktes dagegen wurde das Urtheil über die relative Entfernung des zweiten Fadens durch die größere oder geringere Undeutlichkeit des Fadens bedingt.

Innerhalb des Accommodationsvermögens ist das Verhalten ein anderes. Während sich ergab, dass sich außerhalb des Accommodationsvermögens Annäherungs- und Entfernungsgrenze gleich verhalten, indem sie von der scheinbaren Dicke und Deutlichkeit abhängig sind, tritt hier innerhalb des Accommodationsbereiches ein verschiedenes Verhalten der Unterscheidungsgrenzen ein: die Entfernungsgrenze verhält sich zunächst noch gleich wie jenseits des Fernpunktes, und bleibt sich auch der Größe nach gleich, während die Annäherungsgrenze bedeutend an Feinheit zunimmt. Allmählich nimmt dann auch die Unterscheidungsgrenze für Entfernung an Feinheit zu; mit immer größerer Annäherung des Fadens an das Auge gleichen sich die beiden Unterscheidungsgrenzen immer mehr aus, bis sie endlich beim Nahepunkte wieder gleich werden und diesseits desselben auch gleich bleiben.

§ 13. Sehen wir jetzt zu, ob und wie weit sich die eben mitgetheilten Verhältnisse in den von mir angestellten Versuchen wiederfinden. Ich will sogleich mittheilen, dass unter sechs Beobachtern nur einer, dessen rechtes Auge gleichfalls ähnliche Verhältnisse wie das von Wundt zu seinen Versuchen herangezogene aufwies, Ergebnisse lieferte, die nach ihrer objectiven Seite denen von Wundt

gleichem. Es sind dies die Versuche an Herrn A. E. Taylor; sein Fernpunkt lag etwas über 200 cm, sein Nahepunkt etwa bei 30 cm.

<i>D</i>	<i>Sa</i>	<i>Se</i>
20	1	1
30	1	1
40	2	3
60	3	5
80	6	7
100	6	12
150	8	12
180	7	10
220	10	12

Ein Blick auf die von Wundt mitgetheilte und diese Tabelle lässt sofort ihre Uebereinstimmung erkennen. Auch das, was Wundt über das Verhalten jenseits des Fernpunktes fand, traf für Herrn Taylor zu, dagegen war es ihm kaum möglich, diesseits von 20 cm Entfernungsunterschiede noch zu erkennen, er fühlte bei so geringer Entfernung starke Ermüdung in den Augen, die sich bis zum Schmerz steigerte. Schon bei 40 cm Entfernung klagte er über schnell eintretende Ermüdung, besonders im linken, vom Sehen excludirten Auge. Sonst gab dieser Beobachter nur noch an, dass er sich im allgemeinen im Urtheil immer mehr oder weniger unsicher fühle und hauptsächlich auf die geringere oder größere Deutlichkeit des Fadens achte. Der Beobachter meinte dabei nicht die Dicke des Fadens, sondern die Schärfe, mit der er ihn sah. Immerhin war es erforderlich nachzusehen, ob sich bei diesen Versuchen denn doch nicht vielleicht auch die scheinbare Dicke des Fadens in einem Maße änderte, dass sie, wenn auch vielleicht vom Beobachter unbeachtet, doch für die abgegebenen Urtheile von Bedeutung hätte sein können. Berechnet man aber die Differenzen der Gesichtswinkel, die den Annäherungs- und Entfernungsstrecken in der obigen Tabelle entsprechen, so ergibt sich bei 0,22 mm Dicke des Fadens ein größter Werth von 12" für die Annäherung und 11" für die Entfernung bei 20 cm Distanz des Fadens, und ein geringster von 1" für Annäherung und Entfernung bei 220 cm. Wollte man hier die geringsten Werthe, die für die Unterscheidungsfähigkeit des Gesichtswinkels geltend

gemacht worden sind¹⁾, in Betracht ziehen, nämlich die von Wülfing gefundenen, deren Minimalwerth 10 bis 12 Winkelsekunden beträgt²⁾, so wäre es noch immer unzulässig zu meinen, es hätte die scheinbare Dicke des Fadens bei diesen Versuchen eine Rolle gespielt.

Die Tabellen der übrigen Beobachter weisen durchgehends eine feinere Unterschiedsempfindlichkeit für das Erkennen von Tiefenunterschieden auf, die Differenzen der Gesichtswinkel sind dann noch geringere. In den folgenden drei Tabellen sind die Unterscheidungsgrenzen für alle Distanzen je zweimal verzeichnet, entsprechend der doppelten Prüfung derselben; die mit I. V. überschriebenen Rubriken enthalten die Resultate der ersten Versuchsreihe, die mit II. V. die der zweiten.

Beobachter: Herr Prof. Külpe. Rechtes Auge.

<i>D</i>	I. V.		II. V.	
	<i>Sa</i>	<i>Se</i>	<i>Sa</i>	<i>Se</i>
cm	cm	cm	cm	cm
40	1	1,5	1	1,5
60	2,5	2,5	2	2
80	3	3	2,75	3
100	4	4	3,5	4
125	4	5	4	4,5
150	4	5	4	5
180	4,5	6	4,5	5,5
200	10	9	6	6
250	12	15	9	10

Die Aussagen über das subjective Verhalten des Beobachters, sofern sie sich bloß auf das monoculare Erkennen von Tiefenunterschieden beziehen, sind spärlich: Reagent achtete nach oftmals wiederholter eigener Bemerkung sehr auf die Deutlichkeit und Stärke des Fadens, fühlte sich aber dabei stets unsicher, diese Unsicherheit wurde eine um so größere, je länger er mit dem Urtheil zögerte. Dasselbe gilt auch für die folgenden zwei Beobachter.

1) Hillebrand, a. a. O. S. 116 f.

2) E. A. Wülfing, Ueber den kleinsten Gesichtswinkel. Zeitsch. f. Biologie. XXIX. Neue Folge XI. S. 199 ff.

Beobachter: Herr J. Phl. Fruit. Rechtes Auge.

<i>D</i>	I. V.		II. V.	
	<i>Sa</i>	<i>Se</i>	<i>Sa</i>	<i>Se</i>
30	0,5	1,5	1	1,5
40	1	1,5	1	1,5
60	1,5	1,5	1,5	1,5
80	2	2	2	2
100	3	4	2	3
125	3	3	2,5	3
150	3	4	3	3
180	5	4	4	4
200	6	6	5	5
230	6	7	6	6
260	6	7	6	6
300	8	8	8	7

Beobachter: Herr Tawney. Rechtes Auge.

<i>D</i>	I. V.		II. V.	
	<i>Sa</i>	<i>Se</i>	<i>Sa</i>	<i>Se</i>
20	1	0,5	1	0,5
40	1	1	1	1
60	2	2	1,5	2
80	2	3	2	2,5
100	3	4	2	3,5
130	4	5	3	4,5
160	5	7	4	5
200	6	8	5	7
250	8	12	6	9

Die folgende Tabelle von Herrn Dr. Thiéry enthält unter *Se* und *Sa* als Unterscheidungsgrenzen das Mittel von je vier Versuchen, und die Rubriken *Eo* und *Eu*, *Ao* und *Au* die maximalen (*Eo*, *Ao*) und minimalen Abweichungen (*Eu*, *Au*) des berechneten Mittels von den ihnen am weitesten bez. nächsten stehenden Werthen.

Beobachter: Herr Dr. Thiéry. Linkes Auge.

<i>D</i>	<i>Sa</i>	<i>Ao</i>	<i>Au</i>	<i>Se</i>	<i>Eo</i>	<i>Eu</i>
30	0,875	0,125	0,375	0,875	0,125	0,375
40	1,6	0,4	0,6	1,1	0,9	0,1
60	1,2	0,8	0,2	1,75	0,25	0,75
80	1,5	0,5	0,5	2	0	0
100	2,5	0,5	0,5	3,5	0,5	0,5
125	4,2	0,8	1,2	4,2	0,8	0,2
150	4	1	1	4,1	0,9	0,6
180	4	1	1	4	1	0,5
200	4	1	1	4,75	1,25	0,75
230	6	1	1	5	0	0
260	7	1	1	5,5	0,5	1,5
300	8,5	1,5	0,5	6,5	0,5	0,5

Endlich die letzte Tabelle enthält die numerischen Ergebnisse des Herrn Dr. Spitzer. Diese Tabelle ist insofern interessant, als Herr Spitzer, ohne vorher irgend einmal ähnliche Versuche mitgemacht zu haben, sogleich ohne vorangehende Einübung fähig war, mit bemerkenswerther Sicherheit Tiefenunterschiede zu erkennen. Die Tabelle enthält nur eine Versuchsreihe.

Beobachter: Herr Dr. Spitzer. Rechtes Auge.

<i>D</i>	<i>Sa</i>	<i>Se</i>
30	0,5	0,5
40	1	1
60	1,5	2
80	2	2
100	2	2,5
125	2,5	3
150	3,5	5
180	5	6,5
220	6	8

Vergleicht man die letzten fünf Tabellen mit der von Wundt mitgetheilten, so wird man auch in ihnen bemerken, dass die Entfernungsgrenzen im allgemeinen etwas größer sind als die Annäherungsgrenzen, dass ferner die ersteren mit der Annäherung des Fadens an das Auge relativ schneller an Feinheit zunehmen als die zweiten, dass endlich um den Nahepunkt sich beide Unterscheidungsgrenzen einander nähern; sie unterscheiden sich von der Wundt'schen insofern, als sie fast durchgehends geringere Werthe für das Erkennen von Tiefenunterschieden aufweisen. Weitere Mittheilungen behalte ich mir für einen späteren Ort vor.

c. Wundt's Erklärung seiner monocularen Tiefenversuche.

§ 14. Die Erklärung seiner monocularen Versuche entnimmt Wundt der verschiedenen Fähigkeit, Tiefenunterschiede innerhalb der Accommodationsgrenzen sowie jenseits und diesseits derselben zu erkennen. Die Erklärung ist folgende: Dies- und jenseits des Accommodationsvermögens schließt der Beobachter auf die Verrückung des Fadens nach der Tiefe aus der Veränderung des scheinbaren Durchmessers des Fadens (jenseits des Fernpunktes), oder aus der Undeutlichkeit desselben (diesseits des Nahepunktes). Dem entspricht das gleichmäßige Verhalten der Entfernungsgrenze und Annäherungsgrenze. Das Erkennen von Tiefenunterschieden diesseits des Nahepunktes wird noch durch die Ermüdung, die in Folge der vergeblichen Anstrengung zu accommodiren eintritt und sehr unangenehm ist, beeinträchtigt. Innerhalb des Accommodationsbereiches verhalten sich die Unterscheidungsgrenzen verschieden, demnach muss auch die Erklärung hier eine andere sein. Der Einfluss der scheinbaren Größe des Objectes ist hier von geringem Einfluss, es überwiegt der der Accommodationsbewegungen selber. Die Thätigkeit der die Accommodation der Linse besorgenden Muskeln ist von Empfindungen, sog. Accommodationsempfindungen, begleitet, die als Bewusstseins-elemente dissubjective Ursache der relativen Tiefenschätzung in unserem Falle sind. Sie sind es aber nur für die Annäherung, denn für die Entfernung des Objectes wird wieder der scheinbare Durchmesser desselben für das Erkennen von Einfluss¹⁾. Physiologisch erklärt sich

1) a. a. O. S. 108 ff.; Grundz. d. Physiol. Psychol. 4. Aufl. II. S. 107.

das dadurch, dass nur die Contractionen der Muskeln von Empfindungen begleitet sind, nicht ihr Nachlassen, was lediglich ein Uebergehen in den Zustand der Ruhe ist. Ein actives Accommodiren findet eigentlich nur für die Annäherung statt.

Es erübrigt noch, eines zu erklären. Die beiden Unterscheidungsgrenzen außerhalb des Accommodationsvermögens und die Entfernungsgrenze innerhalb desselben sind ihrer Größe nach durch die Erkennbarkeit der Veränderungen des scheinbaren Durchmessers des Objectes bestimmt. Da letzteres Moment für das Erkennen der Annäherung innerhalb des Accommodationsbereiches nicht in Betracht kommt, so fragt es sich, wodurch die Grenzen der nothwendigen Annäherungsstrecken bedingt sind. Wundt antwortet darauf: durch das Bestehen der Czermak'schen Accommodationslinie. Letztere ist, wie bekannt, durch die beschränkte Empfindungsschärfe der Retina bedingt. Bewegt sich das Object, in unserem Falle der Faden, innerhalb der seiner Entfernung entsprechenden Accommodationslinie, so gibt es keinen Antrieb zur Accommodation, also auch keine Accommodationsempfindung, es ist innerhalb dieser Grenzen die Verschiebung des Fadens nicht erkennbar. Wundt folgert daraus, dass die überhaupt erreichbaren Grenzen für die Annäherung mit den Accommodationslinien im Grenzfall identisch sind¹⁾.

§ 15. Trotz wesentlicher Uebereinstimmungen der mitgetheilten Tabellen mit der von Wundt ist in diesen Tabellen selbst schon Eines enthalten, was mit einem Punkte der Wundt'schen Erklärung nicht übereinstimmt. Diese fordert, dass die Schwelle für das Fernerrücken auch innerhalb der Accommodationsbreite durch die eben erkennbare Verkleinerung des scheinbaren Durchmessers des Objectes bestimmt werde. Dies ist aber in keiner der sechs mitgetheilten Tabellen der Fall. Die Tabelle des Herrn Taylor weist die größten Entfernungsstrecken auf, so große, dass sie von allen übrigen Beobachtern immer sicher erkannt wurden, sie genügen aber, wie gezeigt, noch nicht, um objectiv auf eine Veränderung der scheinbaren Größe des Objectes zu schließen. Und nimmt man den Faden in den Versuchen von Wundt ebenso dick wie in den meinigen, d. h. 0,22 mm,

1) a. a. O. S. 113.

an, so genügen die dort gefundenen Schwellen auch nicht, um sagen zu können, dass die Entfernung aus der Verkleinerung des scheinbaren Durchmessers des Fadens erkannt wurde. In den fünf übrigen Tabellen endlich sind die Entfernungsstrecken noch geringer, die wirklich veränderte Größe des Objectes bleibt hinter der erforderlichen noch mehr zurück.

Der Beobachter beruft sich oft auf das Zeugniß der inneren Wahrnehmung, wenn er angibt, nach der Dicke des Fadens geschätzt zu haben. Das Zeugniß der inneren Wahrnehmung aber, so wichtig es an sich ist, erlaubt doch nicht ohne weiteres einen Schluss auf das objective Verhalten. Objectiv sind, wie gezeigt, diese Aussagen aus der inneren Wahrnehmung nicht zu bestätigen. Immerhin enthalten sie nichts unerklärliches: Schwankungen in der Accommodation, unruhige Bewegungen der Augen in Folge der Ermüdung mögen oft den Schein einer veränderten Dicke des Fadens verursacht, ein anderes Mal nebst anderen Factoren ihn mitbedingt haben¹⁾.

§ 16. Der zweite Punkt der Erklärung von Wundt betrifft das Verhalten des Accommodationsvorgangs. Ist es außer Zweifel, dass bei der Näherung innerhalb des Accommodationsvermögens die scheinbare Dicke des Objectes kaum in Betracht gezogen werden kann, so ist es naheliegend, an die Accommodationsbewegungen zu denken, besonders da sie auch aus innerer Wahrnehmung unmittelbar nachweisbar sind. Die Erklärung besagt: Näherung wird durch Accommodationsempfindungen erkannt, Entfernung nicht, da die Anspannung der Muskeln nicht von Empfindungen gefolgt ist. Diese Erklärung bietet einige Schwierigkeiten. Soll dem Erkennen der Tiefenunterschiede der Annäherung Anspannung, der Entfernung Entspannung der Accommodation correspondiren, so heißt das so viel, dass die Accommodationsänderung immer von dem Accommodationsgrade, der der Normaldistanz entspricht, ausgeht. Man wird den Vorgang folgendermaßen sich vorstellen können: Im Normalversuche stellt sich die Accommodation für eine bestimmte Entfernung ein, ihr entspricht eine bestimmte Accommodationsempfindung; im zweiten Versuch, wo der Faden näher oder weiter eingestellt ist,

1) S. unten Cap. II, a.
Wundt, Philos. Studien XIII.

wird vermöge der im Gedächtniss festgehaltenen Entfernungsvorstellung der Normaldistanz zunächst wieder der ursprüngliche Accommodationsgrad hergestellt, und nun ändert sich die Accommodation von da aus, bis der Faden nicht deutlich, d. h. ohne Zerstreuungskreise gesehen wird. Wird der Vorgang so gedacht, so entspricht dem Näherrücken des Fadens ein Anspannen, dem Fernerrücken ein Entspannen der Accommodation. An sich ist der Vorgang in dieser Weise sehr wohl denkbar, er ist auch naturgemäß, sofern zugegeben wird, dass die Accommodationsempfindungen für das monoculare Tiefensehen eine Rolle spielen. Die Schwierigkeit dieser Erklärung besteht dann aber darin, dass sie ein sehr feines Tiefengedächtniss voraussetzt, d. h. ein sehr genaues Erneuern des ursprünglichen Accommodationsgrades, was unmittelbar durch die geringen Schwellenwerthe gefordert wird. Und ferner sind dann die Zerstreuungskreise vor dem Einstellen auf die neue Entfernung so klein, dass man wohl annehmen muss, dass sich die Accommodation nicht sofort in der angemessenen Richtung, sondern nur ganz allgemein ändern wird, bis der Faden scharf ohne Zerstreuungskreise erscheint; d. h. es liegt kein oder jedenfalls kein zwingender Grund mehr vor, für das Fernerrücken des Fadens bloß Anspannung der Accommodation anzunehmen. Und dass das Erkennen der Entfernung nicht allein aus der Verkleinerung des scheinbaren Durchmesser sich erklären lässt, haben wir bereits oben gesehen.

Was endlich die Größe der Annäherungsstrecke innerhalb der Accommodationsbreite betrifft, so kann man die Accommodationslinie wohl im allgemeinen als die Grenze derselben ansehen; in den Versuchen ist sie aber jedenfalls niemals erreicht worden. Denn wenn sich die in den Tabellen niedergelegten Werthe an der Grenze der erreichbaren Minimalwerthe befinden, so sind die Accommodationslinien für diese Strecken jedenfalls noch bedeutend kleiner¹⁾. Man könnte aber darin einen Beweis dafür erblicken, dass bei diesen Versuchen die Zerstreuungskreise nicht dasjenige Moment abgeben, welches die Erkennbarkeit der Tiefenunterschiede bewirkte.

1) Vergl. Aubert, Grundzüge der physiol. Optik 1876. S. 460.

d. Binoculare Versuche.

§ 17. In technischer Beziehung unterscheiden sich diese Versuche von den monocularen in nichts, bloß dass hier der Beobachter den Faden mit beiden Augen fixirte. Derselbe befand sich immer in der verlängerten Medianebene des Körpers. Zunächst fand Wundt, dass es auch bei diesen Versuchen unmöglich ist, über die absolute Entfernung zu urtheilen. Versucht man dies dennoch, so fällt das Urtheil immer zu klein aus, und zwar um $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{2}$ der wirklichen Entfernung. Doch ist das Urtheil über die absolute Entfernung etwas genauer als bei den monocularen Sehversuchen¹⁾. Die relative Schätzung dagegen stellte sich als sehr vollkommen heraus.

Ich theile hier die Tabelle von Wundt mit, wie sie theils in den Beiträgen zur Theorie der Sinneswahrnehmung, S. 195, theils in den Grundzügen der physiologischen Psychologie, 4. Aufl. II. S. 136, enthalten ist, und füge nur noch eine Rubrik (v') hinzu, die ich aus den Zahlen dieser Tabelle berechnet habe. Die Tabelle stammt von demselben Beobachter wie auch die monoculare.

<i>D</i>	<i>S_a</i>	<i>S_e</i>	<i>C</i>	<i>a</i>	<i>v</i>	<i>v'</i>
50	1	1	86° 34'	252"	$\frac{1}{50}$	$\frac{1}{49}$
70	1,5	1,5	87° 32,5'	193"	$\frac{1}{45}$	$\frac{1}{45}$
86	2	2	87° 51'	199"	$\frac{1}{39}$	$\frac{1}{39}$
110	2	2	88° 26'	104"	$\frac{1}{54}$	$\frac{1}{54}$
130	2	3	88° 40,5'	74"	$\frac{1}{64}$	$\frac{1}{64,5}$
150	3	3	88° 51'	85"	$\frac{1}{48}$	$\frac{1}{48,7}$
160	3	3	88° 55,5'	73"	$\frac{1}{54}$	$\frac{1}{53}$
170	3	4	88° 59'	66"	$\frac{1}{55}$	$\frac{1}{53,6}$
180	3,5	5	89° 2,5'	68"	$\frac{1}{50}$	$\frac{1}{50,7}$

D bezeichnet die Entfernung des Fadens von den Augen des Beobachters, *S_a* die den einzelnen Entfernungen entsprechenden Annähe-

1) a. a. O. S. 193.

rungs-, Se die Entfernungsschwellen, C den Winkel zwischen der Blick- und Basallinie, a die kleinen Veränderungen dieses Winkels für die Werthe Sa , v das Verhältniss der Annäherungsstrecke zur absoluten Entfernung D des Objectes, und v' das Verhältniss der ebenmerklichen Abnahme des Winkels C für die Werthe Sa zur vorhandenen Größe desselben.

In zweierlei unterscheidet sich die obige Tabelle von den bei den monocularen Sehversuchen gewonnenen: erstens sind die Unterscheidungsgrenzen bedeutend kleiner als in jener, und zweitens besteht hier nicht innerhalb der Accommodationsbreite jener Unterschied zwischen den Entfernungs- und Annäherungsstrecken wie dort. Dieser Unterschied besteht in geringem Grade nur bei weiteren Distanzen. Der Durchmesser des Fadens war nur insofern von Einfluss auf die Unterschiedsstrecken, als ein feinerer Faden Unterscheidungen schon dort möglich macht, wo das bei einem dickeren noch nicht der Fall ist. Ferner fand Wundt die Ermüdung von erheblichem Einfluss auf die Unterscheidungsgrenzen, besonders beeinträchtigte sie die Feinheit der Schätzung in größerer Nähe. Alles das fand ich bestätigt.

§ 18. Ich gehe jetzt zur Darstellung der selbst ausgeführten Versuche über. In den folgenden Tabellen sind die Winkel C der Wundt'schen Tabelle weggelassen und nur die Differenzwinkel angeführt, die den beiden Unterschiedsstrecken (a für die Entfernungs-, e für die Annäherungsstrecke) entsprechen, und zwar in den Tabellen, die die Resultate von zwei Versuchsreihen enthalten, nur für die zweite, bei größerer Uebung des Beobachters gewonnenen. Auch sind die Zahlen, die das Verhältniss der Unterschiedsstrecken ausdrücken (in der Wundt'schen Tabelle v für die Annäherungsstrecken), hier nicht eingetragen, sie sind weiter unten für alle Beobachter übersichtlich zusammengestellt.

Beobachter: Herr Prof. Külpe. $Pd = 68 \text{ mm}^1$).

<i>D</i>	I. V.		II. V.			
	<i>Sa</i>	<i>Se</i>	<i>Sa</i>	<i>Se</i>	<i>a</i>	<i>e</i>
40	1,5	2	1,5	2	11' 18"	13' 49,18"
60	2	3	2	2,5	6' 41,71"	7' 46,09"
80	2	3	2,5	2,5	4' 42,24"	4' 25,20"
100	3	4	2,5	3	2' 59,62"	3' 24,0"
125	4	4	3	3,5	1' 31,16"	2' 32,70"
150	4	4	3,5	4	1' 51,64"	2' 1,37"
180	5	6	3,75	5	1' 22,87"	1' 45,26"
200	6	8	5	7	1' 20,69"	1' 58,54"
250	9	12	8	10	1' 32,65"	1' 47,55"

Vergleicht man diese Tabelle mit derjenigen desselben Beobachters, die bei monocularen Sehversuchen gewonnen wurde, so wird man nur geringe Unterschiede entdecken können. In den kleinsten Entfernungen sind beide Tabellen gleich, die Werthe der monocularen sogar etwas geringer; mit wachsender Entfernung werden die Unterschiede in den Unterschiedsgrenzen zwischen den monocularen und binocularen Sehversuchen etwas größer, aber nicht bedeutend; in die Augen fällt nur, dass die Entfernungsstrecken größere Uebereinstimmung zeigen als die Annäherungsstrecken. In diesem Punkte unterscheidet sie sich auch von der Tabelle von Wundt; sie unterscheidet sich aber außerdem darin, dass hier ebenso wie bei den monocularen Versuchen die Annäherungsstrecken fast durchgehends etwas geringer sind als die Entfernungsstrecken. Aehnlich sind die Verhältnisse bei den übrigen Beobachtern. In der folgenden Tabelle findet sich bei den geringsten Entfernungen dieselbe Uebereinstimmung der Unterschiedsstrecken mit den entsprechenden monocularen Versuchen wie oben, die Differenzen in den weiteren Distanzen sind aber etwas größer als bei dem vorigen Beobachter.

1) Pd bedeutet den Abstand beider Pupillen von einander bei paralleler Augenstellung.

Beobachter: Herr Tawney. $Pd = 65$ mm.

D	I. V.		II. V.			
	Sa	Se	Sa	Se	a	e
20	1	0,5	0,75	0,5	21' 10,98"	13' 16,89"
40	1	1	1	1	7' 6,78"	6' 46,09"
60	1,5	1,5	1,5	1,5	4' 45,59"	4' 31,69"
80	2	3	1,5	2	2' 39,84"	3' 24,01"
100	3	3	2	3	2' 16,64"	3' 15,03"
130	3	3	2,5	3	1' 41,08"	1' 56,19"
160	4	4	3	4	1' 20,02"	1' 42,13"
200	(8)	6	(8)	5	[2' 19,61"]	1' 21,72"
250	(8)	7	(8)	6	[1' 28,59"]	1' 2,85"

Für die Entfernungen 200 und 250 cm findet sich in beiden Versuchsreihen als Annäherungsstrecke eine eingeklammerte (8) angegeben. Herr Tawney hat sowohl in der ersten als in der zweiten Reihe alle Annäherungen bis 190 resp. 238 cm als Zunahmen der Entfernung beurtheilt. Erst bei den letztangeführten Werthen gab er die Urtheile »näher« ab mit der Bemerkung, dass auch die ihnen unmittelbar vorangehenden (192 und 242 cm) näher sein müssten (im Vergleich zu 200 und 250), weil er jetzt erkenne, dass sich beide Eindrücke »ähnlich« seien. Ging ich jetzt nochmals alle Annäherungen durch, so lauteten die Urtheile noch immer in überwiegender Zahl auf »weiter«, aber vermischt mit solchen auf »gleich«, und bei 192 resp. 242 wurden die Urtheile »näher« mit Sicherheit abgegeben. Dasselbe Verhalten notirte ich auch bei gelegentlich ausgeführten Versuchen mit Herrn Dr. Hoch in allen Entfernungen von 200 bis 300 cm. Alles was beide aus innerer Wahrnehmung angeben konnten, war nur, dass sie sich bei allen diesen Schätzungen sehr unsicher fühlten, während sie die Zunahmen der Entfernung leichter und mit ziemlich großer Sicherheit beurtheilten. Dasselbe Verhalten bestand endlich auch für mich. Eine Ursache dieser Erscheinung anzugeben vermag ich nicht, ich werde später versuchen, ob sie sich nicht im Zusammenhange aller noch zur Sprache kommenden Erscheinungen erklären lässt.

§ 19. Nichts von den vorigen zwei Tabellen abweichendes weisen auch die zwei folgenden auf.

Beobachter: Herr Fruit. $Pd = 60$ mm.

<i>D</i>	I. V.		II. V.			
	<i>Sa</i>	<i>Se</i>	<i>Sa</i>	<i>Se</i>	<i>a</i>	<i>e</i>
30	1	1,5	1	1,5	11' 43,99"	16' 12,92"
40	1	1,5	1	1	6' 34,34"	6' 15,30"
60	1	2	1	2	2' 54,36"	5' 31,88"
80	2	3	1,5	2,5	2' 26,97"	3' 54,07"
100	2	3	2	3	2' 6,18"	3' 0,0"
125	3	3	2	3	1' 20,44"	1' 55,96"
150	3	4	3	3,5	1' 24,15"	1' 34,0"
180	4	4	3	4	0' 58,25"	1' 14,71"
200	4	6	4	5	1' 3,13"	1' 15,45"
230	5	6	5	5	0' 59,77"	0' 57,22"
260	5	6	5	6	0' 46,66"	0' 53,67"
300	8	8	7	6	0' 42,04"	0' 40,49"

Beobachter: Herr Dr. Thiéry. $Pd = 60$ mm.

<i>D</i>	<i>Sa</i>	<i>Ao</i>	<i>Au</i>	<i>Se</i>	<i>Eo</i>	<i>Eu</i>	<i>a</i>	<i>e</i>
30	0,75	0,25	0,25	0,875	0,125	0,375	8' 43,03"	9' 38,93"
40	0,81	0,19	0,31	1,2	0,8	0,2	5' 17,92"	7' 28,13"
60	1	0	0	1,75	0,25	0,75	2' 54,36"	4' 51,57"
80	1,75	0,25	0,75	2,2	1	0,2	2' 52,74"	3' 26,73"
100	2	1	1	3,1	0,9	0,1	2' 6,18"	3' 5,90"
125	2,75	1,25	0,75	3,1	0,4	0,1	1' 51,41"	1' 59,73"
150	3	0	0	4,0	0	1	1' 24,15"	1' 47,11"
180	3,25	0,75	0,25	4,1	0,4	0,1	1' 3,20"	1' 16,54"
200	3,25	0,75	0,25	4,1	0,4	1,1	0' 51,10"	1' 2,13"
230	3,75	1,25	0,75	4,75	1,25	0,75	0' 44,59"	0' 54,43"
260	4,25	0,75	0,25	5,75	1,25	0,75	0' 39,54"	0' 51,49"
300	6,5	0,5	0,5	7,5	0,5	0,5	0' 45,68"	0' 50,30"

Die Entfernungsstrecken sind in der Tabelle des Herrn Thiéry, mit Ausnahme der größten Entfernungen, kaum geringer als bei den monocularen Versuchen, bei gewissen geringeren Distanzen sogar etwas größer; die Annäherungsstrecken sind dagegen fast durchgehends feiner. Immerhin erkennt man aus den Columnen der oberen und unteren Abweichungen, dass die binoculare Schätzung eine nicht nur genauere, sondern auch constantere war, besonders wieder was die Beurtheilung der Annäherung anlangt.

Endlich theile ich hier noch eine Tabelle des Herrn Dr. Spitzer mit, die, wie auch seine monoculare Tabelle, schon deshalb interessant ist, weil sie Versuche enthält, die ohne vorherige Einübung sofort in die Protocolle aufgenommen wurden, während gleichwohl die Urtheile präziser waren als die aller übrigen Beobachter.

Beobachter: Herr Dr. Spitzer. $Pd = 63$ mm.

<i>D</i>	<i>Sa</i>	<i>Se</i>	<i>a</i>	<i>e</i>
30	0,5	0,5	6' 3,78"	5' 51,99"
40	0,5	1	3' 24,77"	6' 34,65"
60	1	2	3' 3,43"	5' 49,14"
80	1,5	2	2' 35,27"	3' 18,22"
100	1,5	2,5	1' 39,06"	2' 38,67"
125	2	3	1' 24,65"	2' 2"
150	2,5	4	1' 13,54"	1' 52,71"
180	3,5	4,5	1' 11,71"	1' 28,21"
220	5	7	1' 8,82"	1' 31,25"

e. Wundt's Erklärung seiner binocularen Tiefenversuche.

§ 20. Wie bei seinen monocularen Sehversuchen, so hat Wundt auch hier der Erklärung vor allem das besondere Bild der objectiv gewonnenen Ergebnisse zu Grunde gelegt. Das nächste, woran hier zu denken war, waren die Convergenzbewegungen der Augen. Die Accommodationsbewegungen, waren sie auch hier mit betheilig, konnten doch nicht die erste Rolle beanspruchen, weil sie in diesem

Fall von den Convergenzbewegungen abhängig sind, und nicht umgekehrt. Da ein einfacher Faden endlich in beiden Augen gleiche Bilder entwirft, so können diese, insofern es sich hier wieder um Gedächtnissversuche handelt, keine genügenden Anhaltspunkte für die relative Tiefenschätzung abgeben. Es bleibt also nur übrig, allen Unterschied auf die Convergenzbewegungen der Sehachsen zurückzuführen. Indem Wundt dies thut, wird es ihm ein Leichtes, die Eigenthümlichkeiten der gewonnenen Resultate zu erklären. Dass zunächst die Unterscheidungsgrenzen im allgemeinen gleich sind, erklärt sich daraus, dass sowohl bei der Näherung als bei der Entfernung active Muskelcontractionen im Spiele sind¹⁾. Bei der Entfernung oder Annäherung sind aber ganz verschiedene Muskeln wirksam (Recti externi und interni), denen auch verschiedene Empfindungen entsprechen werden²⁾.

Dafür, dass bei gewissen mittleren Distanzen auch bei den binocularen Versuchen die Annäherungsgrenzen etwas feiner sind als die Entfernungsgrenzen, führt Wundt zunächst zwei Ursachen als mögliche an. Man könne entweder an einen unterstützenden Einfluss der Accommodationsempfindungen denken, oder annehmen, dass die Unterschiedsempfindlichkeit für die Empfindungen der Recti interni eine feinere sei als für die der Recti externi. Die erste Meinung weist Wundt ab, einmal weil, wie seine monocularen Versuche lehrten, bei so geringen Distanzverschiebungen, wie sie die binocularen Versuche aufweisen, eine merkliche Accommodationsempfindung noch nicht entstehe, zweitens aber bliebe es unverständlich, weshalb mit dem Herantreten an den Nahepunkt diese Verschiedenheit der Unterscheidungsgrenzen verschwindet. Die zweite Annahme scheint ebenfalls nicht ohne einen Widerspruch zu sein, denn wäre sie richtig, so müsste die in Rede stehende Differenz der Unterscheidungsschwellen für alle Entfernungen bestehen. Diesen Widerspruch löst aber Wundt, indem er meint, dass wir auf die Hervorbringung geringer Convergenzgrade eingeübt seien, weil unsere Augen sich meistens in geringer Convergenz befinden. Wollen wir daher ein Object in mäßiger Entfernung fixiren, so genügt eine geringe Convergenz, wollen wir wieder unsere Augen in die Ruhestellung überführen, so

1) Wundt, Beiträge, S. 197.

2) Ebenda, S. 183.

genügt schon allein das Abspannen der Recti interni, ohne dass die externi in Action treten. Insofern wiederholen sich hier ähnliche Verhältnisse wie bei der Accommodationsanspannung und ihrem Nachlassen. Bei näheren Distanzen dagegen müssen, soll richtige Einstellung der Sehachsen erfolgen, immer, während die Recti interni nachlassen, gleichzeitig die externi sich contrahiren¹⁾.

§ 21. Gegen diese Versuche hat Helmholtz einen Einwand erhoben. Er schreibt: »Es bleibt bei diesen Versuchen wohl noch zweifelhaft, ob die beiden Augen dem Faden gefolgt und das Netzhautbild auf der Netzhaut ruhend geblieben ist, oder ob die Augen festgehalten wurden und die Verschiebung des Netzhautbildes bemerkt wurde«²⁾. Gegen diesen Einwand bemerkte Wundt folgendes: 1) Er habe seine Versuche so angestellt, dass die Augen, nachdem sie während der Verschiebung des Fadens geschlossen waren, sich zuerst auf die entfernte Wand und von da aus auf den Faden einstellten; eine Verschiebung des Netzhautbildes konnte also nicht stattfinden. 2) In Versuchen, wo der Beobachter den Faden während der Näherung fixirte, waren die Resultate von den nach obiger Methode gewonnenen nicht wesentlich verschieden. 3) Wäre in diesen Versuchen die Annäherung des Fadens an den Verschiebungen der Doppelbilder erkannt worden, so würde bei fortwährender Fixation des Fadens die Unterscheidungsgrenze nicht zunehmen, sondern constant bleiben, nämlich gleich dem geringsten erkennbaren Unterschied des Netzhautbildes sein; sie übertreffe aber diesen bei einer geringen Convergenz (70—50 cm Distanz) um das vier- bis fünffache seiner Größe. 4) Man sei sich in diesen Versuchen der angewandten Muskelanstrengung unmittelbar bewusst³⁾. Die zwei letzteren Gegeneinwände wird man ohne weiteres gelten lassen müssen. Der zweite Punkt verliert einen wesentlichen Theil seiner Stärke dadurch, dass die in ihm betonten Versuche doch verschieden ausfielen als die zuerst gemachten. Zudem sind solche Versuche vom heutigen Standpunkte der Betrachtung und mit Rücksicht auf die Theorien von Hering

1) Beiträge, S. 198 f.

2) v. Helmholtz, Handbuch der physiologischen Optik, 1. Aufl. S. 651. 2. Aufl. S. 797.

3) Wundt, Grundzüge der physiologischen Psychologie, 1. Aufl. S. 556 f. 4. Aufl. II. S. 135

unzweckmäßig, wir dürfen also diesen Einwand übergehen. Dagegen erfordert der erste Punkt eine ausführlichere Betrachtung. Zunächst hat der Einwand von Helmholtz sicher nur dann eine Existenzberechtigung, wenn, wie Helmholtz sagt, die Augen ruhig blieben und die Netzhautbilder sich verschoben. Diese Bedingung war aber in den Versuchen von Wundt nicht vorhanden, da der Beobachter, nachdem er die Normaldistanz sich eingeprägt hatte, wegblickte, um dann, als der Faden verschoben wurde, wieder durch das Rohr zu blicken. Allerdings könnte man an eine Erkennbarkeit der Distanzänderung aus den Verschiebungen der Netzhautbilder auch dann denken, wenn man, analog wie bei der Erklärung der monocularen Versuche, annehmen würde, dass bei dem Vorzeigen der Vergleichsdistanz zunächst der Convergenzgrad der Normaldistanz wieder hergestellt werde, um dann die Augen zu bewegen, bis der Faden scharf und deutlich gesehen wird. Bei dieser Annahme müsste vorausgesetzt werden, dass die Annäherung mit Convergenz-, die Entfernung mit Divergenzbewegungen verbunden sei. Und da auch hier durch die Constanz der Ergebnisse gefordert wird, dass die Wiederherstellung des ursprünglichen Convergenzgrades sehr regelmäßig und mit großer Genauigkeit geschieht, so würde dem Einwande von Helmholtz, falls man die letztangeführte Annahme festhielte, eine gewisse Berechtigung nicht abzusprechen sein, da beim Wiederherstellen des ursprünglichen Convergenzgrades der Vergleichsfaden, wenigstens der Theorie zu Folge, nicht einfach erscheinen kann. Wurden aber die Versuche so ausgeführt, dass der Beobachter zunächst immer auf den weißen Hintergrund blickte, so wird man sich den Vorgang folgendermaßen denken können: der Beobachter sieht bei dem Normalversuch zunächst nach dem weißen Hintergrund und sucht dann den Faden auf, seine Augen nehmen eine Convergenzstellung a ein; im Vergleichsversuch verfährt er ebenso, und es wird eine Convergenzstellung b hervorgebracht. Sind nun beide Convergenzstellungen verschieden, so wird sich aus einem Vergleichsact (beider Convergenzempfindungen) das Urtheil über die relative Distanzänderung bilden. Und sofern solche Versuche zu gleichen Ergebnissen führen wie jene, bei welchen an den Beobachter nicht die Forderung gestellt wurde, zuerst nach dem weißen Hintergrund zu blicken, enthalten sie immerhin, wenn nicht gerade eine Widerlegung des Helmholtz'schen Einwandes, so doch

eine Stütze mehr für die von Wundt gegebene Erklärung seiner Versuche. Eine Widerlegung enthalten sie deshalb nicht, weil sich aus Rücksicht auf den Einwand von Helmholtz die Frage erhebt, ob der Beobachter, wenn auch nicht gleich im Anfang, so doch im Verlauf der Versuche, denn doch nicht eine bestimmte, d. h. constante Entfernungsvorstellung von dem weißen Hintergrunde gewinnt. Wäre dies der Fall, so würden sich die Augen beim Anblicken des Hintergrundes immer in ungefähr gleicher Convergenz befinden, wodurch dann ein Maß für die Verschiebungen der Netzhautbilder bei der Augenbewegung vorhanden wäre. Diese Frage wäre zunächst nur experimentell zu entscheiden. Ein endgültiger Schluss könnte aus den experimentellen Ergebnissen aber auch dann noch nicht gezogen werden, weil hier Netzhautbildverschiebungen und Augenbewegungen gleichzeitig geschehen. Es kann aber fast als sicher angesehen werden, dass die Entfernungsvorstellung, wenn das Distanzobject ein gleichmäßiger Hintergrund ist, nicht in dem Maße eine bestimmte sein wird, als wenn ein scharf umgrenztes Object, z. B. ein Faden gegeben ist, dass also der erforderliche Ausgangspunkt für die Verschiebung der Netzhautbilder ein in allen Versuchen zu wenig constanter war. In Bezug auf die Erklärung Wundt's ist dann noch zu bemerken, dass, wenn der Beobachter zunächst auf den weißen Hintergrund blickt und dann den Faden aufsucht, die Erkennung des Näher- oder Fernerrückens des Fadens nicht aus einer entsprechenden Convergenz- oder Divergenzbewegung, sondern aus der Vergleichung je zweier Convergenzstellungen erklärt werden muss, wobei im einen Fall (bei der Näherung) auf die schwächere die stärkere, im andern Falle (bei der Entfernung) umgekehrt auf die stärkere die schwächere Convergenz folgt.

§ 22. Ich gehe jetzt über zu den weiteren Consequenzen, die Wundt aus seinen Versuchen gezogen hat. Zunächst ist aus den Columnen *C* und *A* der Wundt'schen Tabelle und mit ihnen übereinstimmend aus meinen Tabellen ersichtlich, dass die Differenzen der Drehungswinkel, die den Normaleinstellungen des Fadens und dessen Verschiebungen entsprechen, um so größer werden, je geringer die Entfernungen gewählt werden, für welche man die Unterschiedsstrecken untersucht. Schon aus dieser Thatsache allein hat Wundt gefolgert, dass die Tiefenschätzung aus Convergenzempfindungen dem

psychophysischen Relativitätsgesetze folge¹⁾. Er erblickte darin eine directe Bestätigung für die Gültigkeit des Weber'schen Grundgesetzes²⁾.

In den Beiträgen zur Theorie der Sinneswahrnehmungen und ebenso in den Grundzügen der physiologischen Psychologie sind hierbei überall die Werthe der linearen Entfernungsschwellen angeführt, aus denen das Bestehen einer relativen Constante, wie sie das Weber'sche Gesetz fordert, zu ersehen ist. In den Vorlesungen über die Menschen- und Thierseele, 1. Aufl., sind dagegen die Drehungswinkel verzeichnet, die den kleinen Verschiebungen des Fadens entsprechen. Für die Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes sind die letzteren Werthe zweifellos die ausschlaggebenden; man kann aber statt ihrer die linearen Entfernungsschwellen setzen, weil sie den zugehörigen Winkeln proportional sind. Ich habe deshalb in der unten folgenden Tabelle statt der Drehungswinkel die ihnen entsprechenden linearen Schwellen mitgetheilt³⁾.

Der mittlere Werth dieser relativen Constante ist für neun Distanzen in den Versuchen von Wundt $\frac{1}{51}$ mit einer größten Abweichung nach unten von 12 und einer größten nach oben von 13. Dass eine solche relative Constante im allgemeinen besteht, fand ich in allen meinen Versuchen bestätigt; sie ist aber für verschiedene Beobachter verschieden groß. Ich habe sowohl für die Annäherung als auch für die Entfernung das Mittel dieser Constanten mit ihren größten Abweichungen nach oben und unten, und die mittlere Abweichung aller von der berechneten Constante aus den obigen Tabellen berechnet und in einer besonderen Tabelle zusammengestellt.

1) Wundt, Beiträge, S. 295, 416.

2) Wundt, Grundzüge der physiologischen Psychologie, 1. Aufl. S. 577. 4. Aufl. II. S. 136. Vorlesungen über die Menschen- u. Thierseele, 1. Aufl. 1863. II. p. 482.

3) Vergl. G. E. Müller, Zur Grundlegung der Psychophysik, 1879. S. 216.

Beobachter	a	I. V.						II. V.									
		Ca	Abweichung		Mittel aller Abweichungen	Ce	Abweichung		Mittel aller Abweichungen	Ce	Abweichung		Mittel aller Abweichungen				
			o	u			o	u			o	u					
Herr Kälpe	9	33	40	27	3,3	26	37	20	4,4	37	48	27	6,2	30	37	20	5
» Thiéry	12	—	—	—	—	—	—	—	—	52	61,5	40	6,4	39,4	49	32	5
» Spitzer	9	59,5	80	44	5,8	40	60	30	5	—	—	—	—	—	—	—	—
» Tawney	9 (7*)	36,5	43	20	5,8	37	43	27	4	45	54	27	8	40	43	33	1,3
» Fruit	12	45	60	30	6	34	45	20	6	49,5	62	30	6,6	38,5	50	20	6,6

(7*) bedeutet, dass die Ca bei Herrn Tawney nur aus 7 Distanzen berechnet sind. Vgl. S. 150.

a bedeutet die Zahl der Distanzen, aus denen die mittleren Constanten C_a für die Annäherung, C_e für die Entfernung berechnet sind; o die größte Abweichung nach oben, u nach unten.

Man ersieht aus dieser Tabelle, dass die Annäherung auch beim binocularen Tiefenschätzen in unseren Versuchen etwas genauer erkannt wurde als die Entfernung. Ebenso ist die Constante in der zweiten Versuchsreihe der ersten drei Beobachter feiner als in der ersten, woraus der Einfluss der Uebung zu erkennen ist. Es muss noch bemerkt werden, dass zu den Versuchen der zweiten Reihe nicht sofort nach Beendigung der ersten übergegangen wurde, sondern erst nach Verlauf von 8—10 Tagen, weil alle Beobachter schon am Ende der ersten Versuchsreihe dieser Experimente ermüdet waren. Auffällig ist es, dass die Abweichungen von der Constante für die Annäherung im allgemeinen etwas größer sind als für die Entfernungen.

Zwei weitere Ergebnisse entnahm Wundt aus den absoluten Größen der Winkelverschiebungen a des Auges und denen der Unterscheidungsschwelle v . Die absolute Größe der eben merklichen Winkelverschiebung bei möglichst günstigen Bedingungen, d. h. bei geringer Convergenz, stimmte sehr nahe überein mit den kleinsten Unterschieden des Netzhautbildes, wie sie bei den gewöhnlichen Versuchsbedingungen gefunden wurden¹⁾. Und zweitens hebt Wundt hervor, dass die Werthe unter v nahe zusammenfallen mit denjenigen, die für die ebenmerklichen Unterschiede des Augenmaßes für Distanzen gefunden wurden. Aus diesen Ergebnissen zieht Wundt folgende Schlussfolgerungen: »Das erste dieser Resultate spricht dafür, dass die Augenbewegungen schon bei der Auffassung der kleinsten erkennbaren Unterschiede des Netzhautbildes von bestimmendem Einflusse sind; das zweite macht es wahrscheinlich, dass unser Augenmaß für den Unterschied von Distanzen auf unserer Fähigkeit, Grade der Augenbewegung zu unterscheiden, beruht. Damit ist die Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes für das Augenmaß mit großer Wahrschein-

1) Wundt fand, dass für sein Auge Linien von 3,5 mm Breite und 1,083 mm Distanz in 2870 mm Entfernung, also bei einem Winkel von 77,7" verschmelzen. Nimmt man die Fäden feiner, so ist, wie Aubert (Physiologie der Netzhaut, S. 228) für Spinnwebfäden fand, ein größerer Winkel nöthig, ungefähr 80,4" bis 147,5". Wundt, Grundzüge, 1. Aufl. S. 525. 4. Aufl. II. S. 99.

lichkeit auf seine Gültigkeit für die Bewegungsempfindungen zurückgeführt¹⁾.

Was die zwei letzten Ergebnisse und die daraus gezogenen Schlussfolgerungen anbelangt, wird man sie, so lange man die Versuche, besonders in quantitativer Beziehung, als gültig betrachtet, gewiss gelten lassen müssen. Besonders stimmen die Winkelverschiebungen — ganz allgemein gesprochen — auch bei allen den fünf Beobachtern, an denen ich experimentirte, mit den von Wundt gefundenen oft sehr nahe überein, und liegen bei allen bis auf 100 cm absolute Entfernung diese Winkelverschiebungen um die kleinsten unter gewöhnlichen Bedingungen gefundenen Unterschiede des Netzhautbildes herum. Die absoluten Größen der relativen Constanten dagegen zeigen in meinen Versuchen bei den verschiedenen Beobachtern nicht unbeträchtliche Abweichungen von denen bei Wundt. Für Wundt's Beobachter beträgt die Constante im Mittel aus neun Distanzen $\frac{1}{51}$, dagegen kommen bei mir Werthe vor wie $\frac{1}{33}$ und $\frac{1}{37}$ für Herrn Prof. Külpe, $\frac{1}{36}$ und $\frac{1}{45}$ für Herrn Tawney, und auf der anderen Seite $\frac{1}{52}$ für Herrn Thiéry und $\frac{1}{59,5}$ für Herrn Spitzer. Ob diese Werthe übereinstimmen mit der Feinheit ihres Augenmaßes, darüber habe ich leider keine Versuche angestellt. Es wäre das insofern nothwendig gewesen, als die drei erstangeführten Werthe außerhalb der Grenzen der Feinheit des Augenmaßes fallen, wie sie von Fechner und Volkmann nach der Methode der ebenmerklichen Unterschiede gefunden wurde²⁾.

Auch mit Rücksicht auf die relative Constante, die sich bei diesen Versuchen im Sinne des Weber'schen Gesetzes ergibt, muss jedoch der entgegengesetzten Meinung gedacht werden. Die obige Constante wird, auf die Drehungswinkel zurückgeführt, für den Anhänger der Meinung, dass es Augenmuskelempfindungen sind, die in den obigen Versuchen das sinnliche Moment der Erkenntniss der Tiefenverschiebungen abgeben, eine starke Bestätigung seiner Ansicht sein. Aber auch für denjenigen, der da meint, dass es Verhältnisse auf der Netzhaut sind, die auf unsere Frage eine Antwort geben, ist

1) Wundt, Grundzüge, 1. Aufl. S. 557. 4. Aufl. II. S. 137.

2) Für Fechner ergab sich im Mittel $\frac{1}{40}$ (Elemente der Psychophysik, I. S. 233 f.). Bei Volkmann (Physiologische Untersuchungen im Gebiete der Optik, 1864, S. 129 f.) schwankten die Werthe zwischen $\frac{1}{45}$ — $\frac{1}{60}$.

es ohne weiteres einleuchtend, dass die obigen Verhältnisse der Winkel, wenn man die Netzhaut als Kugelschale ansieht, eben Verhältnisse der Bögen dieser Winkel sind, und die Abweichungen, die hier stattfinden werden, können dann auch nicht größer sein als diejenigen, die sich eben gezeigt haben¹⁾).

Die bisherige Betrachtung der Wundt'schen Versuche und ihrer Theorie hat auf der einen Seite manches ergeben, was sich der Modification bedürftig erwies; auf der anderen Seite wieder manches, was dem in der Theorie Andersdenkenden ebenso werthvoll sein kann, als einem Vertreter Wundt'scher Ansichten. Und sofern diese letzteren Thatsachen nicht schon an und für sich zu dieser oder jener Ansicht nöthigen, stellt sich von selbst die Aufgabe, nach beiden Seiten, so weit dies möglich sein wird, eine Entscheidung zu versuchen, um dann von da aus eine Erklärung der mitgetheilten Versuche zu finden.

1) R. Greeff fand auch für die Hering'schen Fallversuche jene Verhältnisse zwischen den Unterschiedsstrecken und der absoluten Entfernung, ebenfalls aber auch, dass das Bild der fallenden Kugel um ein bestimmtes von der Macula lutea entfernt liegen muss, was nach allem Obigen nicht Wunder nehmen kann (Zeitschr. für Psychologie von Ebbinghaus u. König, Bd. III. S. 39). Nur irrt Greeff, wenn er glaubt, der erste Entdecker jenes Verhältnisses der Unterschiedsstrecken zu sein. Wundt bemerkte dies schon lange vor ihm. Die Fallversuche von Hering übergehe ich hier, sie erfordern eine besondere Betrachtung.

(Schluss folgt im nächsten Hefte.)
