

Über das Augenmafs der seitlichen Netzhautteile.

Von

Stabsarzt Dr. GULLERY
in Köln.

Bei Gelegenheit einer anderen Untersuchung hatte ich mir die Frage vorzulegen, ob die Fähigkeit der Gröfsenschätzung auf der Netzhautperipherie eine andere ist, als in dem Zentrum, insbesondere, wie weit das WEBERSche Gesetz hier Gültigkeit beansprucht. Um einen solchen Vergleich zwischen Peripherie und Zentrum ziehen zu können, müßte man zunächst darüber im Klaren sein, wie sich das letztere selbst in dieser Hinsicht verhält. Nur wenn wir hier etwas Gesetzmäßiges finden, wird sich ein erspriefslicher Vergleich mit der Peripherie anstellen lassen. Die Durchsicht der Litteratur ergiebt nun aber, daß diese Voraussetzung bisher noch sehr wenig erfüllt ist und bis in die neueste Zeit die verschiedenen Untersucher, namentlich in Bezug auf das WEBERSche Gesetz, zu gerade entgegengesetzten Ergebnissen gekommen sind. WEBER¹ selbst behauptete zwar, daß das Gesetz auch für die Länge von Linien, die wir mit dem Gesichte unterscheiden können, zutrifft, und suchte dies dadurch zu beweisen, daß er den kleinsten Unterschied bestimmte, welcher erforderlich ist, damit zwei nacheinander betrachtete Linien noch als verschieden groß erkannt werden können. Er fand dabei, daß dies noch eben der Fall war, wenn die Längen sich verhielten wie 100:101, und daß dieses Verhältnis für jede beliebige Länge dasselbe sein muß. Spätere Beobachter haben sich dieses Verfahrens im allgemeinen nicht mehr bedient, sondern sind mit Hülfe der Methode der richtigen und falschen Fälle und besonders der mittleren Fehler an die Frage herangetreten.

¹ WAGNER, *Handwörterb. d. Physiol.* III. 2. Abtl. S. 559.

Der, letzteren bediente sich HEGELMAYER,¹ welcher auch eine ungefähre Bestätigung des WEBERSchen Gesetzes fand, doch waren seine Versuche sowohl ihrer Art, als ihrer geringen Zahl nach nicht geeignet, die Sache zu entscheiden. Die Frage wurde wieder aufgenommen von FECHNER und VOLKMANN, von denen ersterer² einen bis auf die Spitzen verdeckten Zirkel auf eine Spannweite von 10, 20, 30 und 40 halben pariser Dezimallinien einstellte und nunmehr die Spitzen eines zweiten, ebensolchen Zirkels auf dieselbe Entfernung zu bringen suchte, während letzterer die Abstände von parallel gespannten Fäden den gegebenen Abständen von 10, 20, 40, 80, 120, 160, 200, 240 mm nach dem Augenmaße gleichmachte. Nach der Methode der mittleren Fehler fanden beide Forscher, daß das WEBERSche Gesetz zutrif, d. h. also, daß der Fehler immer denselben Bruchteil der gegebenen Distanz ausmache, und zwar bei FECHNER $\frac{1}{62.1}$, bei VOLKMANN $\frac{1}{88}$ (in späteren Versuchen $\frac{1}{101.1}$). Ähnlich wie bei anderen physiologischen Reizen ergab sich aber eine untere Grenze, jenseits welcher das Gesetz nicht mehr zutrif. Bei mikrometrischen Distanzen von 0,2 bis 3,6 mm fanden nämlich VOLKMANN und APPEL, daß diese Proportionalität nicht mehr hervortrat. FECHNER sucht dies durch Zerlegung der mittleren Fehler in zwei Komponenten zu erklären, von denen er die eine als die VOLKMANNsche Konstante, die andere als die WEBERSche Variable bezeichnet. Letztere entspricht dem WEBERSchen Gesetze, bleibt also den vorgelegten Längen proportional, während die erstere sich nicht ändert. Als wahrscheinlich nimmt er an, daß diese auch bei den größeren Distanzen im Spiele sei, aber gegen dieselben wegen ihrer Kleinheit verschwinde. Weiterhin dürfte bei den ganz kleinen Abständen der Einfluß der Irradiation, welcher sich hier stärker geltend machen muß, das Ergebnis trüben. Die Versuche waren binokular und ohne bestimmte Augenstellung vorgenommen.

Die Tabelle von MACH³ dagegen spricht nicht zu Gunsten des WEBERSchen Gesetzes. Er teilte eine gegebene horizontale Strecke in veränderlichem Verhältnisse in zwei Abschnitte und verfuhr dann nach dem Augenmaße ebenso mit einer zweiten,

¹ *Vierordts Arch.* XI.

² *Psychophysik.* Bd. I.

³ *Sitzgs.-Ber. d. Wien. Akad.* 2. Abtl. XLIII. Jan. 1861.

gleich langen. Die mittleren variablen Fehler, welche er fand, zeigen nichts Gesetzmäßiges.

Späterhin wurden diese Versuche von CHODIN¹ wieder nachgeprüft, welcher ebenfalls das WEBERSche Gesetz nicht gültig fand. Er verfuhr in der Weise, daß binokular und bei uneingeschränkten Augenbewegungen zu beiden Seiten einer gegebenen Distanz dieselbe abgetragen wurde. Dabei zeigte sich bei Zunahme der Distanzen zunächst eine Abnahme des relativen Fehlers und dann wiederum eine Zunahme. Im wesentlichen dasselbe Ergebnis wurde beobachtet bei Schätzungen aus dem Gedächtnisse, nur trat der Wechsel von Zu- und Abnahme erst bei größeren Distanzen ein. Es bezieht sich dies auf horizontale Längen. Für vertikale dagegen giebt er, abgesehen von den kleinsten, zu, daß die relative Größe des Fehlers im allgemeinen dieselbe bleibt, also dem WEBERSchen Gesetze nicht widerspricht.

FISCHER² hinwiederum stellt sich auf Seite von FECHNER und VOLKMANN und erklärt CHODINS Ergebnisse zum Teil durch einen Rechenfehler, zum Teil hält er sie für zufällige. Da seine Versuche bereits das peripherische Sehen mit berücksichtigen, werden wir auf dieselben weiter unten zurückkommen.

Neuerdings hat nun HIGIER³ in einer sehr ausführlichen Arbeit auf Veranlassung von Prof. KRÄPELIN die Frage nochmals einer eingehenden Prüfung unterzogen und hierbei, aufser der Methode der mittleren Fehler, auch die der richtigen und falschen Fälle, kombiniert mit dem Prinzipie der Minimaländerungen, ferner die Methode der doppelten und mehrfachen Reize benutzt. Die Beobachtungen wurden monokular gemacht, und befand sich das Auge in Primärstellung, 50 cm von dem betreffenden Objekte entfernt. Ob das Auge fixiert ist oder sich frei bewegen darf, erwies sich nicht als gleichgültig, da der mittlere Fehler im ersteren Falle viel größere Werte zeigte. Bei allen Versuchen ergab sich aber, daß der Fehler nicht proportional den gegebenen Längen wächst, sondern derselbe erreichte ein Maximum zwischen 20 und 100 mm, und ein

¹ *Arch. f. Ophthalm.* XXIII. 1.

² *Ibid.* XXXVII. 1.

³ *Inaug.-Dissert.* Dorpat 1890.

zweites bei 200 mm. Auch unterzieht HIGIER die einschlägigen Tabellen MÜNSTERBERGS¹ (welche mir im Original nicht zur Verfügung stehen) einer abfälligen Kritik, indem er hervorhebt, daß deren mittlere variable Fehler viel zu große Schwankungen aufweisen, als daß sie zu Gunsten des WEBERSchen Gesetzes verwertet werden könnten, wie der Autor will.

Diese Untersuchungen mit fixierter Augenstellung bedeuten offenbar zum Teil schon eine Prüfung des Augenmaßes der peripheren Teile, indem das Netzhautbild der verglichenen Längen die Stelle des deutlichsten Sehens mehr oder weniger überragt und nur exzentrische Stellen von demselben erregt werden. HIGIER experimentierte mit einer schmalen leuchtenden Linie, die durch einen herabhängenden Draht in zwei Teile geteilt war. Der Blick fiel ungefähr auf den Berührungspunkt der beiden Teile, und wurden dieselben nunmehr durch seitliche Schieber gleichzumachen gesucht. Daß hierbei die Schätzung schwerer wurde und demgemäß die Fehler größer ausfielen, als bei bewegtem Auge, erklärt er durch den Mangel der Innervationsgefühle. Es ist aber auch eine bekannte Tatsache,² daß wir kleine Unterschiede am besten bemerken, wenn wir abwechselnd die Mitte zweier Linien fixieren, wodurch die zu vergleichenden Gegenstände hintereinander auf dieselben Punkte der Netzhautoberfläche fallen, welches Hilfsmittel bei fixiertem Auge natürlich fehlt. Wir werden auf den Einfluß der Augenbewegungen noch näher zurückkommen.

Als „Größenschätzungen im Gesichtsfeld“ bezeichnet FISCHER (l. c.) seine Versuche, und einzelne von ihnen sind auch solche im strengeren Sinne des Wortes, insofern die geschätzten Objekte ihr Bild vollständig auf der Peripherie entwerfen und das Zentrum nicht mit beanspruchen. Es sind dies diejenigen, wo von drei Bruchstücken einer Linie das mittlere fixiert und die beiden äußeren miteinander verglichen werden, ferner solche, bei welchen eine Linie, deren einer Endpunkt fixiert wird, halbiert werden soll, so daß also die eine Hälfte vollständig peripher liegt, die andere zum Teil. Eine unmittelbare Vergleichung des zentralen und peripheren Sehens fand aber nur in beschränktem Maße statt, da die Netzhautbilder der

¹ *Beitr. z. experiment. Psychol.* 1889. II.

² VON HELMHOLTZ, *Physiol. Optik.* 2. Aufl. S. 688.

betreffenden Linien immer noch in die nähere Umgebung der Macula fielen und überhaupt zu nahe aneinandergrenzten, als daß wesentliche Verschiedenheiten durch die Lage als solche sich hätten herausstellen können. Im Gegensatze zu den vorhergenannten Autoren kommt nun FISCHER wieder zu dem Ergebnisse, daß das WEBERSche Gesetz für das Augenmaß zutreffe, was aber aus seinen Zahlen keineswegs überall hervorgeht. Ja, er findet, wie schon oben bemerkt, daß auch CHODINS Tabellen mehr für als gegen das Gesetz sprechen. Bei Winkelhalbierungen dagegen hat sich ihm dasselbe wieder nicht bestätigt.

Gehen wir auf die Versuche etwas näher ein, so kommen für die Beurteilung des Augenmaßes der Netzhautperipherie am meisten diejenigen in Betracht, bei welchen ein zentrales und ein peripheres Stück eines Sehfeldradius unter Fixierung des zentralen Endpunktes des ersteren verglichen werden. Es fand sich hierbei stets ein konstanter Fehler, welcher in doppelter Weise sich geltend machte. Erstens wurde das periphere Ende stets unterschätzt, also zu groß eingestellt, was nicht nur durch die infolge der peripheren Lage stattfindende Verkleinerung des Seh winkels zu erklären war, sondern auch unter Anrechnung der hieraus sich ergebenden Differenz blieb immer noch ein konstanter Fehler übrig. Zweitens verhielten sich die einzelnen Abschnitte des Sehfeldes verschieden, insofern die Größe des konstanten Fehlers ganz regelmäßig mit der Richtung des gegebenen Radius wechselte. Derselbe war, wenn man den Versuch für die Arme eines senkrecht stehenden, im Durchschnittspunkte fixierten Kreuzes ausführte, am kleinsten für den linken, etwas größer für den unteren, weit stärker für den rechten, am bedeutendsten für den oberen. Es gelten diese letzteren Angaben für das rechte Auge. Im Sehfelde des linken war der konstante Fehler ganz analog, nur daß der rechte und der linke Arm sich umgekehrt verhielten. Bei diesen Angaben ist am auffälligsten, daß der linke Arm kleiner taxiert wurde, als der untere, also ein horizontaler kleiner, als ein vertikaler, während sonst von allen Autoren, welche senkrechte und wagerechte Linien verglichen haben, das Gegenteil angegeben wird. So soll nach WUNDT der Unterschied bis zu $\frac{1}{5}$ der horizontalen Strecke betragen können, CHODIN fand ihn wechselnd nach der Länge der Linien

VON $1/61$ — $1/95$, VON HELMHOLTZ VON $1/60$ — $1/80$. FISCHER selbst hat in anderen Versuchen, bei welchen ein senkrechter und ein wagerechter Kreuzarm verglichen wird, diese Angaben der letzteren Autoren bestätigt. Der Fehler fand sich bei den wagerechten Armen gröfser, wenn zwischen den beiden zu vergleichenden Stücken noch ein Zwischenraum gelassen wurde. Bei dieser Modifikation schien er aber abzunehmen, wenn das zentrale Stück oder der Zwischenraum gröfser, die Lage der verglichenen Teile also peripherischer wurde, jedoch war das letztere nicht immer deutlich, weil das Urteil über die Gröfsenverhältnisse dabei überhaupt ein sehr unbestimmtes wurde. Zumal für die Messungen am äufseren und noch mehr am oberen Arme hält FISCHER die Unbestimmtheit der Gröfsschätzung für noch bedeutender, als sie durch den variablen Fehler ausgedrückt wurde, welcher letztere in Bezug auf die Lage der verglichenen Teile im übrigen dasselbe Verhalten zeigte, wie der konstante.

Die Zahl derjenigen Versuche, welche sich mit einer Vergleichung des zentralen und peripheren Augenmafses beschäftigen, ist daher, wenn ich nicht andere Arbeiten übersehen habe, vorläufig noch eine sehr geringe. Sollten noch sonstige Angaben über diese Frage vorliegen, so dürften meine Versuche immerhin als weiterer Beitrag ihre Berechtigung haben. Soviel scheint aus dem Bisherigen hervorzugehen, daß irgend welche auffälligen Unterschiede zwischen Peripherie und Zentrum nicht bestehen, und werden die vorhandenen hauptsächlich auf die gröfsere Undeutlichkeit des Bildes und die daraus sich ergebende Unsicherheit zurückgeführt. Über diese Unsicherheit selbst, über die Grenzen, bei welchen sie anfängt, sich störend bemerkbar zu machen, und über ihr Verhalten in verschiedenen Abständen vom Zentrum habe ich in der Litteratur überhaupt keine genaueren Angaben vorfinden können. VON HELMHOLTZ¹ vergleicht diese Unsicherheit mit derjenigen, welche entsteht, wenn man die Gröfse einer Linie schätzen will, auf welche man nicht scharf akkommodiert hat. Die Breite einer solchen Linie, sagt er, ist gar nicht zu schätzen, ihre Länge sehr unvollkommen, dagegen wohl ihre Richtung. Daß aber überhaupt im indirekten Sehen eine gewisse Schätzung möglich ist,

¹ *Physiol. Optik.* 2. Aufl. S. 697.

beweist ihm die richtige Beurteilung der PURKINJESCHEN Aderfigur.

Wenn es thatsächlich so schwierig ist, eine Linie zu schätzen, worauf man nicht akkommodiert, worüber ich selbst keine Versuche gemacht habe, so möchte ich behaupten, daß der gewählte Vergleich kein sehr glücklicher ist, da thatsächlich noch bis zu beträchtlicher Entfernung vom Zentrum ziemlich genaue Schätzungen möglich sind. Auf den Grad der Bestimmtheit, welcher sich aus der Größe des variablen Fehlers ergeben muß, soll unten näher eingegangen werden. Dabei konnte ich nicht einmal finden, daß erst nach größerer Übung sich eine gewisse Sicherheit erlangen läßt, insofern meine ersten Versuche von den späteren keine wesentliche Abweichung zeigten. Nach FISCHER ist der gegenseitige Abstand der beiden verglichenen Längen (der übrigens in seinen Versuchen verhältnismäßig gering war), nicht von wesentlichem Einflusse, wohl aber die Abweichung ihrer Lage von der geraden Linie. Dieser letztere Einfluß mußte sich bei meinen Versuchen sehr bemerklich gemacht haben, da die verglichenen Distanzen stets einander parallel waren. Die Anordnung war nämlich die, daß ein Auge bei Verschluss des anderen auf eine gegebene senkrechte oder wagerechte Distanz gerichtet war und ich mich nun bemühte, in verschiedenen Abständen vom Zentrum eine zweite Distanz, welche der ersteren parallel lief, dieser gleich zu machen. Es wurden hierfür zwei Abstände gewählt. Zunächst derjenige, welcher die äußerste Grenze bildete, bei welcher mir überhaupt noch ein hinreichend genaues Erkennen der betreffenden Linie möglich war. Nach längerem Prüfen fand ich, daß diese Grenzen für mein Auge nach innen und außen bei ca. 50° , nach oben und unten bei ca. 40° lagen. Nächstdem wählte ich zum Vergleiche noch einen näheren Abstand, und zwar 30° . Der einzige wesentliche Unterschied, der sich hierbei gegen die vorher gewählte Lage ergab, war der, daß die variablen Fehler wegen der größeren Deutlichkeit des Objektes etwas weniger schwankten. Nach diesen Vorversuchen wurde alsdann ein mittlerer Abstand von 35° gewählt und für diesen eine größere Anzahl von Vergleichen in den vier Hauptmeridianen angestellt. Damit die periphere Linie dieselbe Entfernung vom Auge beibehielt, wie die zentrale,

wurden sie nicht auf einer ebenen Fläche, sondern gleich am Perimeter angebracht, so daß alle durch Ungleichheit des Seh winkels entstehenden Störungen und ermüdenden Berechnungen vermieden wurden. Sehr geeignet schien mir für diesen Zweck das SCHWEIGGERSCHE Perimeter, teils weil es wegen seiner Handlichkeit immer leicht in die beste Beleuchtung zu bringen war, teils wegen des geringen Radius (15 cm), welcher der Deutlichkeit der Bilder zu statten kam, und endlich, weil die Stücke Karton, auf welchen die betreffenden Linien aufgezeichnet waren, sich bequem auf dem schmalen Metallbogen aufstecken und in jedem beliebigen Abstände befestigen ließen. Hinter dem Perimeter bot sich dem Blicke eine gleichmäßig graue Fläche dar.

In der Mitte dieses Perimeters wurde also ein Stück Karton angebracht, welches eine Linie von bestimmter Länge zeigte. In dem gewünschten Abstände vom Zentrum befand sich ein zweiter Karton mit einer nicht abgemessenen, der ersteren parallelen Linie, welche dem Auge zunächst durch einen auf dem vorigen nach Art eines Schiebers angebrachten anderen Karton, der nur eine weiße Fläche zeigte, verdeckt war. Nunmehr wurde die in dem Perimeterzentrum befindliche Linie fixiert, wobei dem Auge gestattet war, in der Ausdehnung derselben beliebig hin und her zu gleiten, und der Schieber des zweiten Kartons so weit abgezogen, bis die in der Peripherie sichtbar gewordene Linie der ersteren gleich erschien. Nach der umgekehrten Anordnung, daß von einer größeren Länge ausgegangen und diese bis zu einer gegebenen Distanz verkleinert worden wäre, habe ich keine Versuche angestellt. Zur Messung der Fehldistanz hatte ich eine Masseinteilung auf ein Gelatineblatt eingeritzt, welche vermittelt einer Transversalen eine Ablesung bis zu 0,01 mm gestattete. Dieselbe wurde unmittelbar auf die zu messende Distanz aufgelegt und war wegen der Durchsichtigkeit des Maßstabes die gesuchte Größe sofort abzulesen.

Die gegebene Distanz sowie die Fehldistanz standen jedesmal zu dem betreffenden Meridiane senkrecht, so daß sie durch denselben ungefähr halbiert wurden, also für den horizontalen Meridian standen die verglichenen Distanzen senkrecht, für den vertikalen wagerecht, und zwar in dem angegebenen Ab-

stande von 35° . Peripherie und Zentrum¹ befanden sich demnach unter gleichen Bedingungen, welche einen unmittelbaren Vergleich ermöglichten, indem für die gegebene Länge nur die zentralen Netzhautelemente, für die verglichene nur die peripheren in Anspruch genommen wurden. Der Einfluß der Augenbewegungen mußte sich, soweit er überhaupt in Frage kommt, für beide in gleicher Weise geltend machen. Es wurden gewählt die Distanzen 2, 4, 8, 16, 32, 64 mm und mit jeder einzelnen in den vier Hauptmeridianen je 80 Versuche, also im ganzen 1920 Vergleichen, angestellt. War das WEBERsche Gesetz richtig, so mußten die relativen mittleren Fehler für alle Distanzen gleich bleiben. Betrachten wir nun die Ergebnisse.

Mittlere Fehldistanz aus je 80 Versuchen.

	2 mm	4 mm	8 mm	16 mm	32 mm	64 mm
J	2.1119	4.7215	8.81	16.699	31.9815	65.131
A	2.0175	4.5475	8.4135	16.3505	32.0835	65.381
O	2.324	4.8385	8.672	16.981	32.5425	65.421
U	2.270	4.6995	8.412	17.0735	33.5685	65.2685.

Diese Tabelle ergibt, daß der konstante Fehler bis auf einige Ausnahme stets positiv war, und zwar fast durchweg auf der inneren Hälfte des Sehfeldes größer, als auf der äußeren, auf der oberen größer, als auf der unteren. Die peripheriewärts gelegenen Distanzen werden also den zentralen gegenüber entschieden unterschätzt, was von mehreren Autoren bereits angegeben ist, am deutlichsten aber aus den Versuchen von FISCHER hervorgeht. Wenn er ein Kreuz, dessen Arme auf ein bestimmtes Maß eingestellt werden sollten, in die untere oder obere Sehfeldhälfte brachte, so fiel der dem Zentrum zunächst liegende senkrechte Arm am kleinsten aus und der am weitesten peripheriewärts reichende am größten, während die wagerechten nicht nur räumlich, sondern auch der Größe nach zwischen beiden standen. (Die betreffenden Linien erstreckten sich auch hier nicht weit in die Peripherie.) Er glaubt, daß sich hierin eine scheinbare Zusammenziehung

¹ Natürlich nicht das Zentrum im strengsten Sinne des Wortes, da das Netzhautbild einer Linie von nur einiger Ausdehnung immer schon teilweise außerhalb der Fovea liegt.

des Sehfeldes offenbart, deren Gröfse von der Mitte nach dem Rande hin anscheinend geradlinig, aber in den verschiedenen Richtungen verschieden steil ansteigt. Diese Eigentümlichkeit des Sehfeldes würde sich vermutlich bei allen Beobachtern finden, wenn nur in geeigneter Weise daraufhin untersucht würde. Nach dem Ergebnisse der oben erwähnten Vorversuche habe ich allerdings auch den Eindruck gewonnen, dafs die Unterschätzung einer Distanz nach der Peripherie hin immer mehr das Ergebnis beeinflusst, insofern bei den in 50° Abstand angestellten Versuchen die mittlere Fehldistanz gröfser ausfiel, als bei den in 30° . Immerhin scheint aber auch bei Schätzungen, welche mit Hülfe des Netzhautzentrums vorgenommen werden, der konstante Fehler meist positiv zu sein, so dafs eine grundsätzliche Verschiedenheit zwischen Zentrum und Peripherie sich hieraus nicht ergibt.

FISCHER findet den Einflufs dieser Sehfeldzusammenziehung so bedeutend, dafs sogar die sonst übliche Unterschätzung horizontaler Linien gegenüber den vertikalen durch denselben überkompensiert wird, insofern in dem obigen Beispiele der peripheriewärts gelegene vertikale Kreuzarm gröfser eingestellt wird, als die dem Zentrum näheren horizontalen. Im übrigen findet sich die Unterschätzung von horizontalen Distanzen auch in meiner obigen Tabelle deutlich ausgesprochen. Nach oben und unten fallen die betreffenden Längen, welche nach der Versuchsanordnung eine horizontale Richtung hatten, immer gröfser aus, als die vertikalen nach innen und aufsen. Am gröfsten ist der konstante Fehler im allgemeinen in der Richtung nach oben, so dafs man nach FISCHER annehmen müfste, dafs die Sehfeldzusammenziehung hier am meisten zur Geltung kommt. DELBOEUF ist, soweit ich übersehen kann, der einzige, der in Bezug auf das Verhältnis der vertikalen Distanzen zu den horizontalen zu dem umgekehrten Ergebnisse kommt, im Gegensatze zu WUNDT, HELMHOLTZ, FISCHER u. a., wobei FISCHER allerdings die oben erwähnte Einschränkung macht, dafs die mehr oder weniger peripherische Lage das Resultat umkehren kann. „Nach den Einstellungen erwiesen sich, gleichviel welche Stücke des nach oben oder unten vom Fixierpunkte liegenden Kreuzes zu vergleichen waren, die wagerechten Arme als zu lang gegenüber dem zentralen senkrechten, der periphere senkrechte aber noch länger. So habe ich es in einer grossen Anzahl von Versuchen

regelmäßig gefunden; um ein Beispiel zu geben, führe ich an, daß sich nach je 40 Einstellungen in der unteren Sehfeldhälfte des rechten Auges der zentrale senkrechte, der äußere wagerechte und der peripherische senkrechte Arm zu einander verhielten wie 100 : 106 : 111.“ — Aus meiner Tabelle ergibt sich indessen, daß auch bei gleichem Abstände vom Zentrum die horizontalen Distanzen immer zu groß eingestellt werden.

Für die Beurteilung des Verhaltens zum WEBERSchen Gesetze kommen indessen nur die variablen Fehler in Betracht, und ergeben deren Mittelzahlen folgende Tabelle:

	2 mm	4 mm	8 mm	16 mm	32 mm	64 mm
J	0.2533	0.4490	0.677	0.9973	1.685	2.5929
A	0.2901	0.4525	0.5731	0.8298	1.4956	2.2287
O	0.3679	0.5213	0.871	0.0987	1.9022	2.8503
U	0.2674	0.3803	0.6956	1.026	2.0836	2.4537

Die variablen Fehler zeigen hier im allgemeinen ein vom konstanten ganz unabhängiges Verhalten, was ja auch ihrer Bedeutung entspricht. Nur finden sich ebenfalls in der Richtung nach oben mit nur einer Ausnahme die größten Werte, d. h. also: die Schätzung ist in der unteren Hälfte der Netzhaut am unsichersten. Daraus erklärt sich vielleicht auch das entsprechende Verhalten des konstanten Fehlers, wenn man annimmt, daß die Neigung zur Unterschätzung sich in der Richtung nach oben infolge der größeren Unsicherheit der Bestimmung am deutlichsten bemerkbar macht. In der oberen Netzhauthälfte ist dagegen die Unbestimmtheit nicht größer, zum Teil sogar kleiner, als in den seitlichen Teilen, was wohl mehr oder weniger auf Rechnung der bekannten Thatsache zu setzen ist, daß die Vergleichung von horizontalen Distanzen im allgemeinen genauer ist, als die von vertikalen. Jedenfalls ergibt sich hieraus, daß selbst bei geringer Sehschärfe noch ziemlich genaue Schätzungen möglich sind, da nach den neuesten Angaben von WERTHEIM¹ die Sehschärfe bei 35° Abstand vom Zentrum 0.002—0.05 beträgt, wenn die zentrale = 1 gesetzt wird. Ein Blick auf diese Tabelle lehrt aber auch, daß das WEBERSche Gesetz nicht zutrifft. Die mittleren variablen Fehler müßten, wenn sie immer denselben Bruchteil

¹ Diese Zeitschrift. Bd. VII. Heft 2 u. 3.

der gegebenen Distanz darstellten, sich ebenso verhalten wie diese selbst, d. h. die zu jeder folgenden Distanz gehörenden müßten doppelt so groß sein wie die vorhergehenden. Das stimmt annähernd für die ersten Distanzen, doch wird das Verhältnis ein immer kleineres mit der Zunahme derselben. Noch deutlicher ist dies, wenn man die relativen mittleren Fehler ausrechnet, d. h. die mittleren variablen Fehler, dividiert durch die Größe der Distanz selbst.

	2 mm	4 mm	8 mm	16 mm	32 mm	64 mm
J	0.1266	0.1122	0.0846	0.0623	0.0526	0.0406
A	0.145	0.1131	0.0716	0.0518	0.0467	0.0348
O	0.1839	0.1303	0.109	0.0686	0.0594	0.0445
U	0.1337	0.145	0.0889	0.0641	0.0651	0.0383

Diese Werte müßten dem WEBERSchen Gesetze zufolge untereinander übereinstimmen, was, wie wir sehen, aber nur für die beiden ersten Längen in befriedigender Weise zutrifft. Je größer dieselben werden, um so mehr nehmen die Werte der Tabelle ab. Die Fehler der Schätzung wachsen also durchaus nicht proportional den Distanzen, sondern in viel geringerem Maße.

In Bezug auf das Nichteintreffen des WEBERSchen Gesetzes finde ich mich also in Übereinstimmung mit CHODIN und HIGIER, welche das Augenmaß der zentralen Netzhautelemente prüften. Nur kann ich die von ihnen angegebenen Schwankungen nicht konstatieren, indem sich bei mir von Anfang an eine Abnahme der Werte bemerklich machte, während die beiden genannten Autoren einen Wechsel von Zu- und Abnahme in bestimmten Grenzen beobachteten.

Es ist auffällig, daß im Gegensatze zu FECHNER und VOLKMANN, welche das WEBERSche Gesetz bei Augenmaßversuchen vollkommen bestätigt fanden, fast alle späteren Autoren sich nicht davon überzeugen konnten. FECHNER selbst hält sich übrigens zu einem Rückschlusse auf die Empfindungskreise der Netzhaut im Sinne WEBERS durch seine Resultate nicht für berechtigt, sondern glaubt, daß vielmehr die Augenbewegungen die Hauptrolle spielen. Er sagt ausdrücklich, daß, da bei den betreffenden Versuchen die Augenbewegungen nicht ausgeschlossen waren, durch dieselben nichts bewiesen werde, da das Muskelgefühl hierbei das Ausschlaggebende sein

könne. Diesen Einfluß der Augenbewegungen fand auch HIGIER, ohne denselben eingehender zu prüfen. Er überzeugte sich aber, daß sowohl der konstante wie der variable Fehler bei fixiertem Auge den regelmässigen, bei beweglichem Auge festgestellten Verlauf nicht mehr beibehalten. Er vermutet daher auch, daß die Gesetzmässigkeit im Verlaufe der Fehler auf einem analogen Verlaufe in der Muskelempfindung beruhe. Fällt die letztere, wie es bei fixiertem Auge geschieht, aus, oder, was wahrscheinlicher ist, wird die entsprechende Muskelbewegungsempfindung ohne eine thatsächlich erfolgende Bewegung der mit ihr eng verbundenen Lichtempfindung reflektorisch hinzuassoziiert, so genügt das Erinnerungsbild der früher vollzogenen Bewegung zur Genauigkeit der Schätzung durchaus nicht in dem Maße, wie die direkte Bewegungswahrnehmung. Auf diese Weise könnten durch Muskelanomalien, z. B. Insuffizienz der Interni, konstante Fehler in die Beobachtung hineinkommen, worauf bei derartigen Untersuchungen immer zu achten wäre. MÜNSTERBERG macht die Angabe, daß bei seinen Vergleichen der variable Fehler 4,3 % betrug, wenn das Auge ruhig gehalten wurde, und nur 2,1 % bei beweglichem.

Trotz seiner Versuche ist daher FECHNER selbst von einer Deutung derselben zu Gunsten des WEBERSchen Gesetzes keineswegs überzeugt. Er erwägt, daß nach demselben große Linien gegen kleine in einem logarithmischen Verhältnisse verkürzt erscheinen müßten, aber eine doppelt so lange Linie werde von einem guten Augenmaße auch doppelt so lang taxiert, und dies selbst noch im Nachbilde, wo Bewegungen das Urteil nicht mitbestimmen können. Während er also für die Verwirklichung des WEBERSchen Gesetzes geneigt ist, den Augenbewegungen eine Rolle zuzuschreiben, könnte man aus der letzteren Bemerkung schließen, daß beim Fehlen derselben das Augenmaß sich von dem Zwange dieses Gesetzes frei machen kann. HERING¹ dagegen hält die Zuhülfenahme von Innervationsgefühlen überhaupt für überflüssig und schließt dies aus der Art, wie die Vergleichung stattfindet. Wie bereits oben bemerkt, ist dieselbe am sichersten, wenn man abwechselnd die Mitte der zu vergleichenden Strecken fixiert, so daß die betreffende Netzhautstrecke nacheinander, wie ein Zirkel, bald

¹ HERMANN, *Handbuch d. Physiol.* Bd. III. 1.

auf die eine, bald auf die andere Objektstrecke übertragen wird (VON HELMHOLTZ). Ebenso werde der Parallelismus zweier Linien am besten geprüft, indem man den Blick in der Mitte zwischen beiden hingleiten läßt, und die Gleichheit zweier Winkel, wenn ihre Schenkel parallel liegen, so daß man ihre Bilder nacheinander auf dieselbe Netzhautstelle bringen kann. Indessen, wenn einmal Augenbewegungen stattfinden, so ist doch nicht mit Gewißheit zu sagen, daß die Innervationsgefühle gar keine Rolle spielen, namentlich im Hinblick auf die Unterschiede, welche bei Untersuchung mit beweglichem und mit fixiertem Blicke sich herausgestellt haben. Neuerdings hat VON KRIES¹ versucht, diesen Einfluß der Augenbewegungen für sich allein zu ermitteln. Er verfuhr in der Weise, daß er einen feinen Zeiger auf einem Schieber befestigte und denselben eine Exkursion von einer gewissen, nach dem Gedächtnisse geschätzten Strecke machen ließ, wobei ihm der Blick folgte, so daß also nur immer der eine Endpunkt der durchlaufenen Strecke sichtbar war. Der variable Fehler betrug im Durchschnitte 3.26 %, so daß also mit Hülfe der Augenbewegungen allein schon eine ziemlich genaue Schätzung möglich ist, wengleich der variable Fehler fast den doppelten Wert desjenigen erreichte, der bei Mitwirkung des indirekten Sehens gefunden wurde. Dieser Einfluß des indirekten Sehens ist leicht erklärlich, weil das gleichzeitige Übersehen der gesamten Strecke eine wesentliche Erleichterung für das Urteil sein muß.

Abgesehen von der Frage, ob das WEBERSche Gesetz zutrifft, ist aber auch die theoretische Erklärung, welche WEBER dem Tastmaße wie dem Augenmaße zu Grunde legt, vielfach bestritten worden. Er nahm bekanntlich an, daß die Distanz zwischen zwei berührten oder vom Lichte getroffenen Punkten auf der Haut oder Netzhaut nach Maßgabe größer oder kleiner empfunden wird, als die Anzahl der sog. Empfindungskreise größer oder kleiner ist, welche zwischen den gereizten Punkten liegen, wobei unter Empfindungskreis jede Stelle der Haut oder Netzhaut verstanden wird, welche mit Zweigen derselben elementaren Nervenfasern versorgt wird, oder jede Vereinigung solcher Zweige selbst. Demgegenüber hatte schon PANUM darauf hingewiesen, daß die seitlichen Netzhautteile alles ebenso-

¹ *Beiträge zur Psychologie und Physiologie der Sinnesorgane. Festschrift zu v. Helmholtz' 70. Geburtstage.* Hamburg 1891.

groß sehen, wie das Zentrum, welches auf gleichem Flächenraume viel mehr empfindende Punkte hat. Ob er sich hiervon thatsächlich durch Versuche überzeugt hat, findet sich an den betreffenden Stellen nicht erwähnt. FECHNER ist die Richtigkeit dieser Behauptung zweifelhaft; er hat den Eindruck, daß die Ausdehnung eines hellen Gegenstandes bei Abwendung des Blickes im indirekten Sehen zusammenschwindet und bei Zuwendung in direkter Fixation sich wieder erweitert. Dies erinnert an den bekannten Versuch WEBERS mit zwei Zirkelspitzen, die man über die Haut von einer feiner organisierten zu einer weniger empfindlichen Stelle hingleiten läßt, wobei bekanntlich der Eindruck entsteht, als ob sie sich voneinander entfernten. Eine solche Empfindung hat man aber auch nicht annähernd, wenn man das Netzhautbild eines Gegenstandes von der Peripherie nach dem Zentrum wandern läßt. Die Zahl der Empfindungskreise allein kann daher nicht das Maßgebende sein, wie übrigens auch schon daraus folgt, daß, wenn man die Entfernung eines Gegenstandes vom Auge verdoppelt, derselbe darum doch nicht halb so groß erscheint (FECHNER). Das Urteil wird offenbar durch die Erfahrung und unbewusste Schlussfolgerungen beeinflusst. Auch v. HELMHOLTZ sagt, daß es eine unzulässige Erweiterung der WEBERSchen Theorie von den Empfindungskreisen ist, wenn man diesen Kreisen überall dieselbe Größe zuschreiben und sie als elementare Maßeinheiten der Raumabmessungen benutzen will. Für das Auge würde aus einer solchen Annahme folgen, daß die ganze Peripherie des Sehfeldes in allen Dimensionen relativ viel kleiner erscheinen müßte, als Objekte von gleicher Winkelgröße in der Mitte des Sehfeldes. Vor allen Dingen ist aber auch für das Tastmaß selbst das Zutreffen des WEBERSchen Gesetzes nicht unbestritten und daher der ganze Vergleich überhaupt von zweifelhaftem Werte. Die Versuche, welche FECHNER an der Stirn angestellt hat, ergeben keine auch nur annähernde Proportionalität der reinen Fehler mit den Distanzen. Sie nehmen im allgemeinen viel langsamer und über gewisse Grenzen hinaus oder in größeren Intervallen gar nicht mit den Distanzen zu, so daß sie auch nicht, wie bei den mikrometrischen Augenmaßversuchen, aus einer den Distanzen proportionalen und aus einer konstanten Komponente zusammengesetzt werden können.

Der Vorgang ist also jedenfalls ein sehr komplizierter und weder durch die WEBERSchen Voraussetzungen, noch durch die Augenbewegungen allein zu erklären. Letzteres ergibt sich auch aus meinen Versuchen schon dadurch, daß jene bei allen Schätzungen in gleicher Weise unbehindert waren und doch ganz konstante Verschiedenheiten hervortraten, sowohl nach der Richtung der Distanzen, als nach ihrer Lage im Sehfelde. Indem ich auf alle Hypothesen verzichte, fasse ich die Ergebnisse dahin zusammen, daß:

1. das Augenmaß in den peripheren Teilen des Sehfeldes keine wesentlichen Abweichungen zeigt gegenüber den mittleren, daß vielmehr bestimmte Eigentümlichkeiten, wie z. B. die Unterschätzung horizontaler Distanzen, für die Peripherie ebenfalls gelten;

2. das WEBERSche Gesetz sich nicht als zutreffend erwiesen hat.
