

Vergleichende Untersuchungen über Raum-, Licht- und Farbensinn in Zentrum und Peripherie der Netzhaut.

Von

Dr. GUILLERY,
Stabsarzt in Köln.

(Mit 4 Kurven im Text.)

Der anatomische Bau der Netzhaut und die Verschiedenartigkeit derjenigen Gebilde, die wir als die lichtempfindenden ansehen, hat schon oft zu dem Versuche angeregt, die einzelnen Qualitäten der Wahrnehmungen unseres Sehorganes mit bestimmten Formen jener Gebilde zu verknüpfen. Die schon bei gröberer Betrachtung in die Augen fallende ungleichmäßige Verteilung der Stäbchen und Zapfen über die Netzhautoberfläche und die Ausnahmestellung, welche das Zentrum einnimmt durch das ausschließliche Vorhandensein der letzteren, schien zu der Hoffnung zu berechtigen, daß man über die Bedeutung dieser Teile Aufschluß würde gewinnen können durch sorgfältigen Vergleich der physiologischen Leistungen von Zentrum und Peripherie. Fanden sich hier prinzipielle Unterschiede, so lag es nahe, dieselben auf die erwähnten anatomischen Verhältnisse zurückzuführen. Leider kann man nicht sagen, daß es bis jetzt gelungen wäre, die anatomische Struktur der Netzhaut mit ihrer physiologischen Thätigkeit in Einklang zu bringen, denn so oft einzelne Forscher solche Unterschiede gefunden haben wollten, sind diese von anderer Seite wieder bestritten, und behauptet, daß es sich hier nur um quantitative Differenzen handeln könne, im übrigen aber das Zentrum dieselben Empfindungen habe, wie die Peripherie, und umgekehrt.

Der einzige Unterschied, der sich einer gewissen Anerkennung zu erfreuen hat, dürfte die Farbenblindheit der äusseren Netzhautzonen sein, wenn auch selbst diese nicht einwandfrei geblieben ist, da sie von manchen Autoren nur auf ungenügende Grösse und Lichtintensität der Untersuchungsobjekte zurückgeführt wird.

Wir wissen, daß jede optische Wahrnehmung eines Gegenstandes der Aussenwelt gebunden ist an eine gewisse Grösse der erregten Netzhautfläche, und können durch Zugrundelegen der Werte des reduzierten Auges diese Grösse leicht ermitteln. Vergleichen wir diese letzteren an verschiedenen Stellen der Netzhautoberfläche, so gewinnen wir dadurch einen Ausdruck für das mehr oder weniger zahlreiche Vorhandensein der die betreffende Empfindung auslösenden Elemente an den untersuchten Stellen. Nehmen wir an, einzelne Empfindungsqualitäten, z. B. die bloße Helligkeitsempfindung einer-, die Farbenempfindung andererseits, seien an bestimmte Teile gebunden, so erhält man über die anatomische Verteilung der letzteren ein Urteil, indem man, bei im übrigen unveränderter Beschaffenheit des erregenden Objektes, die Grösse desselben in Betracht zieht, die erforderlich ist, um die betreffende Wahrnehmung an verschiedenen Punkten der Netzhaut hervorzurufen. So läßt sich feststellen, eine wie große Fläche erforderlich ist, um eine Farbe von bestimmtem Tone und bestimmter Sättigung zentral eben noch zu erkennen, und dieselbe Untersuchung auf beliebig viele Punkte der Peripherie ausdehnen, sowie auf beliebig viele Farben. Diese Prüfung wird für die verschiedenen Farbtöne ungleich ausfallen, da wir wissen, daß die Empfindlichkeit des Auges nicht für alle Farben die nämliche ist. Der Vergleich der gefundenen Werte giebt uns Aufschluß darüber, ob die räumliche Verteilung der den betreffenden Empfindungen zu Grunde liegenden Elemente (seien es nun anatomische oder chemische) über die ganze Netzhaut eine relativ gleiche ist. Die Ausdehnung derjenigen Fläche, welche erforderlich ist, um die Empfindung über die Schwelle zu bringen, muß im umgekehrten Verhältnisse stehen zu dem Vorhandensein der anatomischen Teile, an welche sie gebunden ist, oder derjenigen Stoffe, welche die Empfindlichkeit dieser Teile bedingen.

Hätten wir, um eine beliebige Grösse zu wählen, gefunden, daß die Blauempfindung im Zentrum eine doppelt so große

Fläche beansprucht, als diejenige, welche für Rot erforderlich ist, und daß dieses Verhältnis im ganzen Gebiete der Netzhaut dasselbe bleibt, so sind wir zu dem Schlusse berechtigt, daß auch die anatomische Anordnung der betreffenden Elemente eine analoge ist. Welcher Art diese letzteren sind, kann vorläufig unentschieden bleiben. Die Gleichheit der äußeren Form beweist nicht, daß die physiologische Leistungsfähigkeit auch dieselbe ist, so daß man annehmen müßte, daß etwa alle Stäbchen u. s. w. überall dieselbe Funktion haben. Es ist ja möglich, daß die für unsere jetzigen Untersuchungsmittel anscheinend gleichartigen Elemente doch feinere Verschiedenheiten ihres Baues oder ihrer chemischen Zusammensetzung besitzen, die sie zu der Fortpflanzung der ihnen zugehenden Erregungen in ungleichem Maße befähigen.

Dieselbe Untersuchung läßt sich, ebenso wie für die Farben, auch durchführen für die einfache Helligkeitsempfindung. Wir nehmen zwei Flächen von einem bestimmten Helligkeitsunterschiede und stellen fest, welche Ausdehnung wir denselben für die verschiedenen Netzhautstellen geben müssen, damit ihr Unterschied eben noch erkannt wird. Findet sich z. B., daß diese Größe nach der Peripherie nicht in demselben Sinne wächst, wie wir es für die Farbenempfindung festgestellt haben, so würde daraus der Schluß zu ziehen sein, daß die Elemente für Farben- und Helligkeitsempfindung nicht in demselben Verhältnisse in der Netzhaut verteilt, also diese beiden Empfindungsqualitäten wohl auch nicht an dieselben Elemente gebunden sind. Wir müßten denn annehmen, daß die Empfindlichkeitskurve für jeden der beiden Reize in demselben Substrate (anatomischen oder chemischen) sich in verschiedenem Sinne verändert, was aber doch auch nur denkbar wäre bei einer entsprechenden Änderung dieses Substrates selbst.

Einen bequemen Maßstab für den Vergleich dieser verschiedenen Werte würde die Größe des „physiologischen Punktes“ (AUBERT) darstellen, d. h. der geringsten Ausdehnung des eben wahrnehmbaren Netzhautbildchens. Es ist diese Größe für jede beliebige Netzhautstelle immer leicht zu ermitteln durch allmähliche Annäherung kleiner dunkler Objekte auf hellem Hintergrunde. Setzt man dieselbe = 1 und vergleicht damit die Größe derjenigen Flächen, die für die anderen Wahrnehmungen erforderlich sind, so muß man ein übersichtliches Bild

erhalten über das Verhältnis, in welchem die Elemente für Raum-, Licht- und Farbensinn über Zentrum und Peripherie verteilt sind. Eine auffällige Ab- oder Zunahme der einen oder anderen dieser Vorrichtungen an beliebigen Netzhautstellen muß eine deutliche Änderung des betreffenden Verhältnisses zur Folge haben, und so wird das Ergebnis uns eine Prüfung der verschiedenen Theorien über die Verteilung der empfindlichen Substanzen im Sehorgane ermöglichen.

Nach diesem Plane sind die folgenden Untersuchungen angestellt. Es ist zunächst für Zentrum und Peripherie in regelmäßigen Abständen (ich habe je 10^0 gewählt) die Größe des physiologischen Punktes ermittelt, alsdann die Größe derjenigen Fläche, welche für die Wahrnehmung einer bestimmten Helligkeitsdifferenz, und schließlich derjenigen, die für eine bestimmte Farbenempfindung erforderlich ist. Das gegenseitige Verhältnis dieser Werte wird, wie gesagt, Aufschluß darüber geben, ob die Elemente für Raum-, Licht- und Farbensinn eine gleiche räumliche Verteilung über die Netzhautoberfläche haben, oder ob für bestimmte Empfindungen Zentrum bzw. Peripherie mehr bevorzugt sind.

Zum Teil handelt es sich hier um bekannte Gegenstände. So ist für das Zentrum schon vielfach die Größe des physiologischen Punktes (ph. P.) untersucht, und für die Peripherie neuerdings von GROENOUW.¹ Vergleiche von Licht- und Farbensinn in Zentrum und Peripherie sind auch nichts Neues, doch sind mir vergleichende Untersuchungen über die räumliche Verteilung dieser drei Empfindungsqualitäten nicht bekannt. Die in der Litteratur vorliegenden Untersuchungen über den Raumsinn sind nicht zu verwerten, da man sich dazu in der Regel komplizierter Formen (Haken, Schriftzeichen u. dergl.) bedient hat, mittelst deren schon für das Zentrum keine sicheren Ergebnisse zu gewinnen sind, geschweige denn für die Peripherie.

Es dürfte zunächst nicht überflüssig sein, sich zu vergegenwärtigen, welche Funktionen der Netzhaut durch die angedeuteten Methoden geprüft werden. Gehen wir von der einfachsten und räumlich beschränktesten Erregung aus, so ist diese durch die Erregung eines einzelnen selbständigen Netzhautelementes gegeben, als welche in der Fovea centralis, nach der am meisten

¹ *Arch. f. Augenhkde.* XXVI. 2.

verbreiteten Ansicht, die Zapfen anzusehen sind. Bekanntlich hat man neuerdings den Versuch gemacht, dieselben als blofse dioptrische Apparate zu deuten, welche das Licht auf die in ihrem Brennpunkte liegende, eigentlich empfindliche Schicht des Pigmentepithels leiten. Für unsere Betrachtung kann diese Frage gänzlich aus dem Spiele bleiben, denn da es hier nur auf die räumliche Ausdehnung des betreffenden Reizes ankommt, so genügt die längst festgestellte Thatsache, daß es möglich ist, einen Reiz wahrzunehmen, der in seiner Ausdehnung nicht größer ist als die Oberfläche eines Zapfens. Was der Zapfen mit dem entstandenen Netzhautbildchen macht, können wir ihm überlassen.¹

Wenn wir diesen Versuch anstellen, müssen wir berücksichtigen, daß die ausschließliche Erregung eines einzelnen empfindenden Elementes nicht möglich ist. In einem erhellten Raume ist immer die ganze Netzhaut durch von außen kommende Lichteindrücke affiziert, und selbst im Dunkelzimmer verrät uns das sog. Eigenlicht der Netzhaut die Fortdauer eines gewissen Erregungszustandes. Wir können somit den Versuch nur so gestalten, daß die Erregung eines einzelnen Elementes sich von derjenigen der übrigen unterscheidet.

In dieser seiner einfachsten Form giebt uns der Vorgang keine weiteren Aufschlüsse, als daß an einer bestimmten Stelle im Raume sich etwas befindet, was einen anderen optischen Eindruck hervorruft, als seine nächste Umgebung. Bei einer eine gewisse Intensität nicht überschreitenden Erregung eines einzelnen Netzhautelementes bleiben wir noch im Unklaren über die näheren Qualitäten des erregenden Gegenstandes, wie seine Farbe und dergleichen, und wohl immer über seine Gestalt; denn auch dem schärfsten Auge dürfte es nicht möglich sein, bei einem so kleinen Netzhautbildchen die Form zu erkennen. Um besondere Qualitäten zu unterscheiden, bedarf es in der Regel der Erregung einer größeren Fläche, und erst durch Unterstützung anderer Elemente können wir unser Urteil in der bezeichneten Richtung vervollständigen. Eine solche Unterstützung findet nicht nur für die unmittelbar aneinander grenzenden Elemente statt, sondern auch für räumlich ge-

¹ A. KÖNIG, Über den menschlichen Sehpurpur und seine Bedeutung für das Sehen. *Sitzgs.-Ber. d. Akad. d. Wiss.* 21. Juni 1894.

trennte, wie die Versuche von FICK u. a. beweisen. Betrachtet man z. B. einen farbigen Punkt und verkleinert die Fläche, welche er erregt, durch allmähliche Vergrößerung seines Abstandes, so wird er zuletzt farblos. Werden aber alsdann mehrere andere solcher Punkte gleichzeitig dem Gesichtsfelde dargeboten, so erscheinen sofort wieder alle farbig.

Es wird natürlich nicht erforderlich sein, daß jedes Mal die ganze Oberfläche eines empfindenden Elementes erregt wird, um überhaupt eine Wahrnehmung hervorzurufen. Es kann auch ein Reiz über die Schwelle treten, der nur einen Teil jener Oberfläche trifft, vorausgesetzt, daß er stark genug ist, um einen deutlichen Unterschied zwischen dem Erregungszustande dieser Stelle und dem ihrer Nachbarschaft hervorzurufen. Theoretisch würde es ja sogar denkbar sein, daß Strahlen, welche sich in einem mathematischen Punkte auf der Netzhaut vereinigen, das getroffene Element so stark erregen, daß die entsprechenden Veränderungen der Nervensubstanz zum Bewußtsein kommen. Praktisch ist indessen ein solcher Versuch unausführbar wegen der optischen Fehler des Auges, welche bekanntlich sogar den Bildern der Fixsterne eine gewisse Flächenausdehnung geben. Es gelingt in der That nicht, die erregende Fläche viel unter den Querschnitt eines Zapfens zu verkleinern, soweit sich nach den ziemlich schwankenden Messungsergebnissen der letzteren beurteilen läßt.

Diese Reizung eines einzelnen Elementes muß in dem Sehorgane qualitativ dieselben Vorgänge hervorrufen, wie diejenige einer größeren Gruppe derselben. Der Unterschied besteht eben nur in der verschiedenen räumlichen Ausdehnung. Betrachten wir z. B. eine größere runde schwarze Fläche (etwa 1 cm Durchmesser) auf weißem Hintergrunde und denken uns diese allmählich verkleinert, bis eben noch ein feiner Punkt unterschieden werden kann, so wird am Schlusse des Versuches offenbar keine andere Funktion der Netzhaut in Anspruch genommen, als zu Anfang desselben. Die Vorgänge im Sehorgane müssen im ganzen Verlaufe der Erregung ihrem Wesen nach dieselben bleiben, nur werden allmählich immer weniger Elemente in Mitleidenschaft gezogen.

Fragen wir nun, wie diese Funktion der Netzhaut zu bezeichnen ist, durch welche ein schwarzer Punkt auf weißem Hintergrunde zur Wahrnehmung kommt, so berühren wir damit

einen in letzter Zeit mehrfach erörterten Gegenstand, der zu Irrtümern Veranlassung gegeben hat. Meines Wissens hat bisher niemand behauptet, daß bei Wahrnehmung eines größeren schwarzen Gegenstandes, sagen wir einer runden Fläche, auf weißem Hintergrunde der Lichtsinn wesentlich beteiligt sei. Versteht man unter Lichtsinn die Fähigkeit, Helligkeitsunterschiede zu erkennen, so ist auch klar, daß derselbe schon ganz erheblich herabgesetzt sein müßte, um die Wahrnehmung von Schwarz auf Weiß zu beeinträchtigen. Gerade durch die Wahl eines möglichst lebhaften Helligkeitskontrastes zwischen Objekt und Hintergrund macht man sich von dem Lichtsinn unabhängig, wie denn auch die Objekte, mit denen man den Lichtsinn prüft, sich nur durch allmählich abgestufte Nuancen von dem Hintergrunde unterscheiden dürfen. Der Lichtsinn eines Auges, welches nicht mehr Schwarz von Weiß unterscheidet, müßte so gut wie erloschen sein. Man kann daher eine solche Wahrnehmung nur als eine räumliche auffassen, bei welcher der Lichtsinn keine andere Rolle spielt, als insofern das Vermögen, hell und dunkel zu unterscheiden, überhaupt bei jedem optischen Eindrücke vorhanden sein muß.

Obschon nun bei räumlicher Verkleinerung des Reizes die in Betracht kommende Netzhautfunktion sich nur quantitativ ändern kann, war es bis vor kurzem ein feststehender Satz, daß die Wahrnehmung eines kleinen dunklen Punktes auf hellem Hintergrunde eine Funktion des Lichtsinnes sei. Wie klein dieser Punkt sein muß, und an welcher Grenze dieser Übergang aus dem Gebiete des Raumsinnes in dasjenige des Lichtsinnes stattfindet, hat allerdings bis jetzt noch niemand festgestellt, und ist auch nicht ersichtlich, nach welchen Gesichtspunkten eine derartige Feststellung zu erfolgen hätte. Meine wiederholten Widerlegungen¹ dieses Irrtumes, sowie die eingehenden Untersuchungen von GROENOUW² über diesen Gegenstand würden mir gestatten, hier nicht näher darauf einzugehen, wenn nicht bis in die neueste Zeit immer wieder von verschiedenen Autoren der Beweis geliefert würde, daß nichts schwieriger ist, als eingewurzelte Vorurteile zu beseitigen.

Der Gedankengang, auf den sich diese Lichtsinntheorie

¹ *Arch. f. Augenhkde.* XXVI. 1. XXVIII. 3. XXXI. 3.

² *Arch. f. Augenhkde.* XXVI. 2.

(s. v. v.) stützt, findet sich bei VON HELMHOLTZ¹ folgendermaßen ausgesprochen: „Kann das Auge bei der angewandten Beleuchtungsstärke Unterschiede der Lichtintensität von $\frac{1}{50}$ erkennen, so würde ein dunkles Bildchen, dessen Flächeninhalt $\frac{1}{50}$ von dem eines empfindenden Elementes ist, noch wahrgenommen werden können.“ Übersetzen wir dieses theoretische Beispiel in die Praxis, so muß bei guter Beleuchtung das Auge ein dunkles Bildchen erkennen können, dessen Flächeninhalt höchstens $\frac{1}{167}$ eines empfindenden Elementes ist, denn nach HELMHOLTZ' eigener Angabe ist die geringste wahrnehmbare Helligkeitsdifferenz $\frac{1}{167}$, nach anderen Autoren noch weniger ($\frac{1}{200}$ — $\frac{1}{220}$). Ja, der Bruchteil müßte sogar noch kleiner werden in Anbetracht, daß derjenige Teil der Zapfenoberfläche, welcher Hell empfindet, noch durch die Helligkeitsempfindung der Nachbarschaft unterstützt wird. Der kleinste Sehwinkel, den man unter den günstigsten Umständen für ein dunkles Bildchen auf Weiß erreichen kann, wird von AUBERT² auf 25" angegeben, und ist dieser wohl thatsächlich als die äußerste Grenze anzusehen. Das diesem Winkel entsprechende Netzhautbildchen würde einen Durchmesser von 0,0017 mm haben. Unter den nicht unerheblich schwankenden Zahlen, welche für den Durchmesser eines Netzhautzapfens angegeben werden, sind die größten, mir bekannten, die von VINTSCHGAU (0,0068). Aber selbst, wenn wir diese zu Grunde legen, bleibt doch eine so erhebliche Kluft zwischen Theorie und Experiment, daß dieselbe wohl nicht anders, als durch einen Fehler der ersteren erklärt werden kann.

Dieser ergibt sich sofort, wenn wir uns die Bedeutung des obigen Bruches, welcher die geringste wahrnehmbare Helligkeitsdifferenz ausdrückt, klar machen. Derselbe ist in der Weise festgestellt, daß größere Flächen, seien es Schatten oder rotierende Mischungen u. s. w., von verschiedener Helligkeit dargestellt und so lange variiert werden, bis bei abwechselnder Betrachtung eben noch ein Unterschied erkennbar ist. Will man die Ergebnisse dieser Versuche auf das einzelne Netzhautelement übertragen, so kann man von diesem doch nur dasselbe verlangen, d. h. man müßte ihm Flächen von derselben Helligkeitsdifferenz darbieten, die aber so klein wären,

¹ *Physiol. Opt.* 2. Aufl. S. 255.

² *Graefe-Saemisch.* Bd. 2. S. 578.

daß sie nur die Oberfläche eines Elementes deckten. Daß der betreffende Bruch in diesem Falle der nämliche sein würde, wie bei den obigen Versuchen, ist nun zunächst nicht nur nicht bewiesen, sondern im Gegenteil höchst unwahrscheinlich. Es ist somit vollkommen willkürlich, zu sagen, daß, wenn „das Auge“ Helligkeitsdifferenzen von bestimmter Intensität unterscheiden kann, dies bei dem einzelnen Elemente sich ebenso verhält.

Nun ist aber in der obigen HELMHOLTZschen Deduktion die Helligkeitsempfindung des einzelnen Zapfens in diesem Sinne gar nicht gemeint, sondern die Versuchsbedingungen sind ganz andere. Wenn ein minimaler dunkler Punkt in heller Umgebung erkannt werden soll, so wird der Zapfen nicht mehr durch verschiedene Nuancen Grau erregt, die sich eben unterscheiden, sondern es handelt sich um einen räumlich möglichst beschränkten Reiz, während der Helligkeitskontrast ein thunlichst großer ist. In dem einen Falle bedeutet der Bruch den Helligkeitsunterschied zweier in ihrer Lichtintensität möglichst ähnlicher, im anderen den räumlichen Unterschied zweier in ihrer Lichtintensität möglichst verschiedener Flächen, so daß also zwei Dinge verglichen werden, die geradezu in einem gewissen Gegensatze stehen.

Dasselbe, was sich hier auf dem kleinsten Gebiete abspielt, betrachten wir, wenn es ein größeres Areal betrifft, als physiologisch zum Raumsinne gehörig, und niemand denkt daran, wenn er einen größeren schwarzen Punkt auf Weiß betrachtet, zu berechnen, welchen Bruchteil die Dunkelempfindung des betroffenen Teiles von der Weißsempfindung der übrigen Netzhaut einnimmt. Offenbar gehört also auch die Wahrnehmung eines kleinen Punktes in das Gebiet des Raumsinnes und wird eine Prüfung der Feinheit des letzteren nicht anders möglich sein, als indem man die erregende Fläche auf die kleinste räumliche Ausdehnung zu reduzieren sucht. Damit die Empfindung vollständig auf diesem Gebiete bleibt, sind andere Funktionen, wie Farben-, Licht- und Formensinn, auszuschließen, und entspricht diesen Anforderungen ein schwarzer Punkt auf weißem Hintergrunde.

Durch frühere Versuche¹ und auch von mir² ist festgestellt,

¹ CHARPENTIER, *Arch. d'ophthalm.* Juillet-août 1882.

² *Arch. f. Augenhkde.* XXXI. 3.

daß die Intensität eines Reizes, bezw. der Gegensatz zu seiner Umgebung in bestimmten Wechselbeziehungen seine räumliche Ausdehnung ersetzen kann, so daß die Wahrnehmbarkeit dieselbe bleibt, wenn die eine ab- und die andere entsprechend zunimmt. Man wird also sicher sein, daß eine weitere Verkleinerung der Fläche nicht zu erzielen ist, wenn der Kontrast von vorne herein möglichst groß gewählt ist. Indessen schließt dies natürlich nicht aus, daß auch schon bei weniger scharfem Kontraste diese Grenze des physiologischen Punktes sich feststellen liefse. Denken wir uns einen hellgrauen Punkt auf weißem Hintergrunde so groß, daß er in einer beliebigen Entfernung eben bemerklich wird, und lassen denselben immer kleiner werden, indem gleichzeitig die für die Wahrnehmung erforderliche Steigerung des Kontrastes eintritt, so wäre es denkbar, daß die Grenze des physiologischen Punktes erreicht würde, bevor der Helligkeitskontrast bis an die äußerste Steigerung gelangt wäre; d. h. also, es wäre theoretisch denkbar, daß ein Objekt von der Ausdehnung des physiologischen Punktes noch zur Empfindung käme, welches einem gewissen Grau (auf weißem Hintergrunde) entspricht. Durch eine weitere Abtönung des Grau nach der Seite des Schwarz wird sich das Netzhautbild nicht mehr verkleinern lassen, weil es alsdann unter die Grenze des physiologischen Punktes fällt.

Für die Peripherie ist diese theoretische Ableitung auch längst praktisch bestätigt, indem verschiedene Autoren feststellen (OLE BULL u. A.), daß die Grenzen für die Wahrnehmbarkeit eines Objektes dieselben sind, wenn man dasselbe Schwarz auf Weiß (oder umgekehrt) nimmt, wie wenn man statt dessen den Helligkeitsunterschied bis zu einem gewissen Grade abtönt. Statt mit weißen Vierecken z. B. kann man ebensogut mit grauen bis zu einer bestimmten Nuance perimetrieren, ohne daß die Gesichtsfeldgrenzen sich merklich verengern. Es ist klar, daß dies für die Peripherie noch viel mehr hervortreten muß, als für das Zentrum, weil auf jener der physiologische Punkt größer und daher seine Wahrnehmung noch weniger an einen möglichst großen Kontrast gebunden ist. Ich habe mich aber auch für das Zentrum überzeugt, daß ein grauer Punkt, dessen Nuance einer Mischung von 185° Schw. + 175° W. entspricht, unter ebenso kleinem Winkel erkannt wird, wie ein schwarzer. AUBERT hat ja auch bereits mit möglichster Ge-

nauigkeit festgestellt, daß der Helligkeitsunterschied zwischen Objekt und Hintergrund in weiten Grenzen schwanken kann, ohne daß die Erkennbarkeit des ersteren wesentlich erschwert wird. Die analogen Untersuchungen GROENOUWS mit kleinen Punkten ergeben dasselbe. Aus den Beziehungen zwischen der Helligkeit eines Reizes einer- und seiner räumlichen Ausdehnung andererseits, sowie aus der unveränderlichen Größe des physiologischen Punktes ist diese Thatsache ohne weiteres verständlich. Es ergibt sich daraus, wie unbegründet es ist, aus dem Umstande, daß man graue Punkte bis zu einer gewissen Helligkeit ebensogut erkennen kann, wie schwarze, schließen zu wollen, daß diese Wahrnehmung eine Funktion des Lichtsinnes sei, wie dies neuerdings auch zu Gunsten dieser Theorie geschehen ist.

Gehen wir nun von dieser einfachsten Funktionsprüfung, deren Natur durch das Gesagte hinreichend erläutert sein dürfte, zu komplizierteren über, so wäre die nächst höhere Leistung, die wir von dem Sehorgane verlangen können, die Ermittlung des kleinsten Zwischenraumes, in dem zwei Punkte noch getrennt empfunden werden können. Damit diese Empfindung zu stande kommt, muß mindestens ein nicht gereiztes Element zwischen den beiden gereizten liegen, da im anderen Falle der Eindruck ein kontinuierlicher sein wird. Wir ermitteln durch eine solche Prüfung die sog. Empfindungskreise der Netzhaut. Vergleichen wir die Vorgänge, die sich dabei am Sehorgane abspielen, mit den bisher betrachteten, so ist offenbar die Qualität des Prozesses, sowie der physiologische Eindruck, welchen er hervorruft, derselbe geblieben. Er ist lediglich vervielfältigt und auf eine neue Stelle im Raume übertragen, und es wird nur auf eine Verschärfung der Aufmerksamkeit ankommen, um denselben an beiden Stellen gleichzeitig zu beobachten.

Bleiben wir also bei der einzelnen Wahrnehmung, so brauchen wir uns mit der Thatsache, daß irgendwo im Raume ein sich von seiner Umgebung unterscheidendes Objekt vorhanden ist, nicht zu begnügen, sondern können uns nunmehr ein Urteil über bestimmte Eigenschaften desselben zu bilden suchen, indem wir z. B. seine Helligkeit mit derjenigen eines anderen vergleichen. Es wird sich dabei zunächst herausstellen, ob dazu dieselbe Ausdehnung der Fläche genügt, oder

ob eine weitere Annäherung erforderlich ist. Diese Empfindung imponiert uns als etwas Neues, in dem Maße, daß man sie sogar an besondere anatomische Elemente (Stäbchen) gebunden hat. Freilich handelt es sich hier auch nur um verschiedene Grade von Erregungszuständen der schwarz-weißen Substanz im Sinne HERINGS, und wenn wir ein Maß hätten, um diese elementaren Vorgänge auszudrücken und abzuschätzen, so würden die Vorgänge bei Wahrnehmung eines schwarzen Punktes und diejenigen bei Wahrnehmung zweier grauen nur quantitative Unterschiede aufweisen. Trotzdem sind beide vollkommen voneinander unabhängig bezüglich ihrer physiologischen Schwellenwerte, denn es kann vorkommen, daß die **Empfindlichkeit** für Helligkeitsdifferenzen eine sehr lebhafte ist (Nachttiere), ohne daß darum die Wahrnehmung einzelner kleiner Gegenstände eine besonders feine sein muß. Wissen wir doch, daß das Auge in seinem niedrigsten Entwicklungszustande (Pigmentfleck) sehr wohl hell und dunkel unterscheidet, während jede weitere Differenzierung nebst den dazu erforderlichen Einrichtungen fehlt. Unbeschadet ihrer physikalischen Ähnlichkeit sind wir daher genötigt, diese verschiedenen Wahrnehmungen, welche die Erregungszustände der schwarz-weißen Substanz auslösen, für sich getrennt zu studieren, und den physiologischen Eindruck, den sie hervorrufen, als maßgebend festzuhalten. Demnach ist die Möglichkeit, Helligkeitsdifferenzen zu unterscheiden, als eine besondere Funktion der Netzhaut anzusehen, und bezeichnen wir dieselbe als den Lichtsinn.

Ein Schritt weiter in der Betrachtung der Eigenschaften der Objekte, welche unser Sehorgan erregen, führt uns zu den verschiedenen Färbungen derselben. Auch bei dieser Empfindung handelt es sich nicht um einen prinzipiellen Gegensatz zu den vorhergehenden. Ja, wir wissen, daß die Farbenempfindung durch Abschwächung ihrer Intensität sich in einfache Helligkeitsempfindung überführen läßt. Der materielle Prozeß, welcher der Farbenempfindung zu Grunde liegt, wird seinem Wesen nach den Erregungen der schwarz-weißen Substanz analog sein, denn es handelt sich jedesmal um Bewegungsvorgänge, die durch Ätherschwingungen von verschiedener Wellenlänge hervorgerufen werden. Trotzdem hat die Farbenempfindung wieder ihre besondere physiologische

Qualität, und wir sind ebenso berechtigt, den Farbensinn vom Lichtsinne zu trennen, wie z. B. bei den Hautgefühlen den Temperatursinn von der einfachen Tastwahrnehmung, um so mehr, als Lichtsinn ohne Farbensinn vorkommen kann. Die anatomischen oder chemischen Substrate der betreffenden Empfindungen bedürfen bestimmter adäquater Reize, welche im stande sind, sie so zu alterieren, daß die entsprechende Wahrnehmung über die Schwelle tritt. Ich glaube daher nicht, daß es ein Gewinn wäre, von der üblichen Definition des Wortes „Lichtsinn“ abzugehen und der Helligkeits- und Farbenempfindung gemeinschaftlich diese Bezeichnung beizulegen (WOLFFBERG).

Endlich nehmen wir an den Objekten der Außenwelt eine bestimmte Größe und Gestalt wahr. Schließen wir die Farbe aus und nehmen wir an, der Gegenstand erscheine schwarz auf weißem Hintergrunde, so sind die Elementarerregungen wiederum qualitativ dieselben, wie sie das Netzhautbild eines einzelnen Punktes hervorruft. Sie können sogar auch quantitativ übereinstimmen, wenn der Punkt eine ebenso große Fläche deckt, also ebenso viele einzelne Elemente erregt, wie die kompliziertere Form. Der Unterschied ist nur der, daß wir in dem letzteren Falle eine verwickelte psychische Leistung verlangen, denn die Kombination der verschiedenen Netzhauterregungen zu einer bestimmten Gestalt spielt sich auf psychischem Gebiete ab.

Raum-, Licht- und Farbensinn sind, solange es eine physiologische Optik giebt, vielfach untersucht und ihre Verhältnisse nach den verschiedensten Richtungen klargestellt. Dem Formen sinne dagegen hat man bisher noch keine bestimmte physiologische Unterlage geben können, eben weil er zu sehr von psychischen Momenten beeinflusst wird. Die Versuche von mir¹ und STETTLER² haben den Beweis geliefert, daß die Erkennbarkeit von Formen in keinem näher definierbaren Zusammenhange mit den dabei auf der Netzhaut sich abspielenden Vorgängen steht, und daß insbesondere ein räumliches Maß für den Schwellenwert derselben nicht zu finden ist.

Anmerkung: Merkwürdigerweise ist gerade diese komplizierteste und der Untersuchung am wenigsten zugängliche Funktion des Auges

¹ *Arch. f. Augenhkde.* XXVIII. 3.

² *Beitr. z. Augenhkde.* Heft XVIII.

der üblichen Prüfungsmethode für die Festsetzung der Sehschärfe zu Grunde gelegt worden. Man ging von einer ganz willkürlichen Annahme aus und gab sich nicht einmal die Mühe, den Beweis zu versuchen. Die physiologische Voraussetzung der Methode findet sich ausgesprochen in dem Satze von DONDERS (*Arch. f. Ophthalm.* XXIII), daß: die Erkennbarkeit eines Schriftzeichens proportional ist dem Sehwinkel in jeder Richtung. Durch die oben erwähnten Versuche ist der Beweis erbracht, daß dieser Satz falsch ist. Im Jahre 1891 machte ich den Vorschlag, die Sehschärfe mit einzelnen Punkten zu bestimmen, d. h. also durch das kleinste eben noch wahrnehmbare Netzhautbildchen, weil ich mich überzeugt hatte (und ich überzeuge mich noch täglich davon), daß es keine Art von Herabsetzung der Sehschärfe giebt, die sich nicht auf diese Weise sofort zu erkennen gäbe. Das Gegenteil hat bis jetzt niemand bewiesen, ja nicht einmal behauptet, sondern sind mir nur die oben beleuchteten theoretischen Bedenken bezüglich des Verhältnisses dieser Wahrnehmung zum Lichtsinne entgegengehalten worden. Wenn, trotzdem dieser Einwand auch von anderer Seite genügend zurückgewiesen ist, an einer Methode festgehalten wird, deren praktische Mängel nicht nur längst unangenehm empfunden, sondern deren physiologische Voraussetzungen erweislich falsch sind, so ist dies wiederum ein typisches Beispiel für das Beharrungsvermögen im Irrtume.

Wollen wir nun die Empfindlichkeit einzelner Netzhautstellen für diese verschiedenen Arten der Wahrnehmung bestimmen (vom Formensinn müssen wir vorläufig absehen), so wird es sich zunächst darum handeln, ein gemeinschaftliches Maß zu finden, wonach wir dieselbe abschätzen. Eine Wahrnehmung ist abhängig von der räumlichen Ausdehnung des Objektes, seiner Helligkeit, seinem Kontraste zum Hintergrunde, bei Farben noch von der Sättigung u. s. w. Allen gemeinsam ist die Abhängigkeit von der räumlichen Ausdehnung, und wird dieses Maß wohl die einzige Möglichkeit bieten, die Schwellen für die verschiedenen Funktionen zu vergleichen. Wir können anders keine Parallele ziehen zwischen der Empfindlichkeit, die dazu gehört, um z. B. einen einzelnen schwarzen Punkt zu erkennen, und derjenigen, die erforderlich ist, um eine Farbe von bestimmtem Tone und Sättigung wahrzunehmen.

Mit dem gemeinschaftlichen Maße des Netzhautbildchens kann zunächst die Empfindlichkeit des Zentrums festgestellt werden in den bezeichneten Richtungen. Wir messen also die Größe des physiologischen Punktes (Schwarz auf Weiß), alsdann, eine wie große Ausdehnung eine Fläche haben muß, um einen Helligkeitsunterschied, und eine wie große, um eine

bestimmte Färbung an ihr wahrzunehmen. Die gefundenen Werte können alle auf den physiologischen Punkt reduziert, und dieser also gleichsam als Maß für die betreffende Empfindlichkeit benutzt werden.

Setzen wir denselben Vergleich fort für die Peripherie in bestimmten Abständen, so erhalten wir eine fortlaufende Reihe von Werten, die ein Urteil darüber gestatten, in Bezug auf welche Wahrnehmungen, an welchen Stellen und in welchem Maße die Empfindlichkeit der Peripherie sich von derjenigen des Zentrums unterscheidet. Gestaltet sich die Kurve für einzelne Wahrnehmungen verschieden, so würde man daraus schließen müssen, daß die Elemente, welche dieselben bedingen, in verschiedener Weise über die Netzhaut verteilt sind. Ist die Erregbarkeit für einzelne Wahrnehmungen die gleiche, so würde man daraus ableiten dürfen, daß diese entweder an die nämlichen empfindlichen Organe gebunden, oder, wenn verschiedene zu Grunde liegen, diese wenigstens in gleicher Weise über die Netzhaut verteilt sind. Ob es sich dabei um bestimmte anatomische Einrichtungen handelt, oder um chemische Stoffe, bleibt, wie gesagt, ganz dahingestellt.

Ein Vergleich würde nicht möglich sein für solche Funktionen, die etwa nur dem Zentrum, oder nur der Peripherie zukämen, und können infolgedessen die äußersten Teile der Peripherie nicht mehr in Betracht kommen, weil sie eine Farbenwahrnehmung, wenigstens bei den üblichen Prüfungsmethoden, nicht haben. Ebenso muß man einen gewissen Gegensatz zwischen Zentrum und Peripherie erwarten bezüglich der Blauempfindung, wie sich unten auch ergeben wird.

Speziell für das Zentrum sind die betreffenden Einzeluntersuchungen schon häufig gemacht worden und gaben dieselben wertvolle Anhaltspunkte. Für unseren Zweck lassen sich die Ergebnisse aber nicht scheinlich verwerten, denn es ist klar, daß die ganze Reihe der Versuche an demselben Auge und mit denselben Objekten muß vorgenommen werden, und sind daher die früheren einschlägigen Versuche im Gebiete des Farbensinnes nicht zu verwenden, weil die Natur der angewandten Pigmente zu unbestimmt ist. Vergleichende Untersuchungen über die notwendige räumliche Ausdehnung der verschiedenen Reize zur Erregung der gleichen Wahrnehmung für Peripherie und Zentrum, in dem Sinne, wie sie hier an-

gestellt, sind mir bisher nicht bekannt. Gewissermaßen würden für das Zentrum allein hierher gehören die Versuche von CHARPENTIER,¹ welcher für die Lichtempfindung fand, daß die Intensität sich durch die Flächenvergrößerung genau kompensieren läßt, so daß also bei Verminderung der Lichtintensität um das achtfache die Fläche um das achtfache wachsen muß, damit dieselbe Wahrnehmung bleibt. Bei der Farbenempfindung und dem Zählen von Punkten bestehe ein solches Verhältnis nicht.² FICK³ konnte diese Ergebnisse nur zum Teil bestätigen. In einer anderen Versuchsreihe fand CHARPENTIER,⁴ daß die Elemente der Lichtempfindung viel reizbarer sind, als die der Farbenempfindung, dagegen zeigten die letzteren dasselbe Verhalten wie die Elemente des deutlichen Sehens (?), so daß auf die Identität beider zu schließen sei. Die Empfindlichkeit wurde gemessen durch die photometrisch festgestellten Lichtminima, welche für die betreffende Empfindung erforderlich waren.

Sehen wir nun, zu welchem Ergebnisse wir auf dem oben bezeichneten Wege kommen, der uns mit Bequemlichkeit gestattet, den Vergleich auch auf die Peripherie auszudehnen.

A. Raumsinn.

Wir wissen, daß ein schwarzer Punkt auf weißem Hintergrunde ein hinreichend starker Reiz ist, um noch eine Empfindung hervorzurufen, wenn sein Netzhautbild kaum die Oberfläche eines Zapfens deckt. Ja, es ist nicht einmal notwendig, daß der Kontrast zwischen Objekt und Hintergrund ein so scharfer ist, denn schon AUBERT hat gezeigt, daß die Helligkeitsdifferenz zwischen denselben in weiten Grenzen schwanken kann, ohne daß die Wahrnehmung besonders beeinträchtigt wird. Dasselbe fand GROENOUW bei seinen Kontrollversuchen und konnte die nämliche Thatsache auch für die Peripherie bestätigen, daß nämlich die Grenzen für die Erkennbarkeit eines einzelnen Punktes in der Peripherie erst verengert werden, wenn die Helligkeitsdifferenz (durch Herabsetzung der

¹ *Arch. d'ophthalm.* Juille-août. 1892.

² Conf. GUILLERY, *Arch. f. Augenhkde.* XXXI. 3.

³ *Pflügers Arch.* 1878. 1886. 1888.

⁴ *Arch. d'Ophthalm.* IV. 4.

Beleuchtung) so weit gesunken ist, daß die Sehschärfe unter der Hälfte der normalen bleibt. Wie oben bereits bemerkt, bin ich im stande, einen dunkelgrauen Punkt, entsprechend $185 S + 175 W$, bei derselben minimalen Gröfse des Netzhautbildes wahrzunehmen, wie einen tiefschwarzen. Hieraus ergibt sich wiederum, in wie hohem Maße diese Untersuchung unabhängig ist von dem Lichtsinne.

Für den vorliegenden Zweck ist es zunächst erforderlich, die Gröfse unseres gemeinschaftlichen Maßes, d. h. des ph. P., zu finden für Zentrum wie Peripherie. GROENOUW war in der Weise vorgegangen, daß er zu einem gegebenen Punkte die Grenzen suchte, innerhalb deren er erkannt werden konnte. Unsere Aufgabe wird es sein, bestimmte Grenzen zu wählen und für diese den zugehörigen Punkt zu finden. Ich hielt es für ausreichend, in den vier Hauptmeridianen in Abständen von 10^0 zu 10^0 die betreffenden Feststellungen zu machen, und zwar so weit nach der Peripherie, als ein Vergleich mit dem Farbensinne noch möglich ist. Auf die Frage, ob die äußerste Peripherie noch farbenempfindlich ist bei genügender Gröfse und Intensität der Objekte, bin ich nicht eingegangen, sondern habe mich nur bestimmter Pigmente bedient, wie sie auf dem Farbenkreisel jederzeit leicht herstellbar sind. Die äußersten Grenzen mußten also auch im wesentlichen denjenigen entsprechen, welche wir bei den üblichen Perimeteruntersuchungen finden. Demgemäß wurde auf dem inneren Netzhautmeridiane bis 60^0 untersucht, auf dem äußeren bis 50^0 , auf dem oberen und unteren bis 40^0 . Auf dem inneren Meridiane wurde von den angegebenen Abständen insofern abgewichen, als 25^0 statt 20^0 genommen wurden, um dem blinden Flecke und der ihn umgebenden Zone vermindelter Empfindlichkeit möglichst aus dem Wege zu gehen. Von da wurde zu 35^0 und alsdann zu 50^0 und 60^0 übergegangen. Diese Einteilung ist natürlich bei allen Versuchen gleichmäßig innegehalten.

Die nähere Anordnung war folgende: Der Untersucher saß mit dem Rücken dicht an einem großen Fenster, und diesem gegenüber standen die zu untersuchenden Objekte in einem Abstände, der nie mehr als einen Meter betrug, so daß die Beleuchtung derselben möglichst wenig schwankte. Die Beobachtung fand statt durch eine innen geschwärzte Metallröhre von 25 cm Länge, welche an ihrem dem Auge zugewandten

Ende einen schwarzen Schirm mit Seitenklappen trug in der Gröfse, daß die Bilder anderer Objekte als der gerade zu untersuchenden, nicht auf die Netzhaut fallen konnten. In der Röhre waren passend angebrachte Blenden, durch welche das Gesichtsfeld diejenige Gröfse erhielt, daß nur die gewünschten Bilder sich dem Auge darboten. Auch bei den exzentrischen Prüfungen fiel das Bild der Objekte durch diese Röhre, und als Fixierpunkt diente ein mattweißer, etwa 2 mm großer Punkt, welcher an einem Gradbogen bewegt werden konnte. Um ihn sichtbar zu machen, ohne das Auge von der Röhre zu entfernen, war diese in einer schmalen Linie einige Zentimeter lang aufgeschnitten und in der Projektion derselben ebenfalls der Schirm, welcher Schlitz durch Drehung des Apparates nach innen, außen, oben oder unten eingestellt werden konnte. Durch Schiebervorrichtungen wurde er immer so weit verdeckt, daß außer dem weißen Punkte in der Blickrichtung des Auges nichts zu sehen war, so daß also, abgesehen von dem Fixierpunkte und dem Bilde des Untersuchungsobjektes, sich dem Auge nur schwarze Flächen darboten. Der Fixierpunkt war immer so weit vom Auge entfernt, wie dem Abstände des Objektes von diesem entsprach, so daß die Akkommodation für das letztere eingestellt war.

Die Herstellung so feiner Objekte, wie sie für die Prüfung des Zentrums erforderlich waren, bietet technisch einige Schwierigkeiten. Man kann sich ja allerdings jedes beliebig kleine Netzhautbild verschaffen durch Zunahme des Abstandes. Dann hätten die Objekte aber allzuweit von dem Fenster entfernt werden müssen, wodurch erhebliche Schwankungen der Beleuchtung entstanden wären, was namentlich für die farbigen Objekte sehr störend ist. Es gelang aber auch, in dem gewählten Abstände die erforderliche Verkleinerung zu erzielen durch eine dem VOLKMANNschen Makroskope entsprechende Einrichtung, indem in das vordere Ende der Röhre eine Konvexlinse von 25 mm Fokaldistanz eingesetzt wurde, welche die gewünschte Verkleinerung herbeiführte. Der Ort, wo das Luftbild des Objektes hinter dieser Linse entsteht, ist nach der bekannten Formel $\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b}$ leicht zu berechnen, die Gröfse derselben nach der Proportion $a : g = A : G$, wo a der Abstand des Bildes, A der des Objektes von der Linse, g die Gröfse des Bildes und G diejenige des Objektes bedeutet.

Aus diesem Werte und dem leicht zu bestimmenden Abstände vom Auge ergibt sich alsdann die Gröfse des Netzhautbildes.

Der Punkt selbst wurde 2 mm groß gemacht, was mit einem feinen Zirkel leicht gelingt. In den äußeren Teilen der Peripherie mußte ohne Linse operiert werden (etwa von 30° bis 40°), weil hier die kleineren Punkte nicht mehr zur Wahrnehmung gelangen.

Diese Anordnung konnte für Raum- und Lichtsinn unverändert beibehalten werden, für den Farbensinn erschienen einige Modifikationen zweckmäfsig, die unten näher erläutert sind. Die in den Tabellen angegebenen Zahlen sind Durchschnittswerte, für jeden einzelnen Fall aus zehn Bestimmungen gewonnen.

Die ermittelten Durchmesser für den physiologischen Punkt sind nun folgende: Bei zentraler Fixation war das Mittel aus zehn Bestimmungen: 0,0035 als Durchmesser des Netzhautbildchens, welche Gröfse etwas weniger beträgt, als der Durchmesser eines Zapfens der Fovea (0,0045). Wenn ich einen geringen Astigmatismus meines Auges korrigiere, kann ich noch kleinere Werte erhalten, ich zog es indessen vor, darauf zu verzichten, da bei den seitlichen Blickrichtungen die Gläser mehr gehindert als genutzt hätten. Der kleine Fehler dürfte wohl vernachlässigt werden können, da derselbe alle Bestimmungen in demselben Sinne beeinflussen muß, und es sich ja nur um Vergleiche handelt.

Die Durchmesser für die physiologischen Punkte der Peripherie sind folgende:

Tabelle 1.

	<i>I</i>	<i>A</i>	<i>O</i>	<i>U</i>
19°	0,0182	0,019	0,022	0,024
20°	—	0,035	0,037	0,037
25°	0,037	—	—	—
30°	—	0,05	0,049	0,046
35°	0,042	—	—	—
40°	—	0,07	0,057	0,062
50°	0,065	0,095	—	—
60°	0,08	—	—	—

I, A, O, U bezeichnen die Netzhautmeridiane.

Der erste Blick auf die Tabelle lehrt, daß, wie zu erwarten war, der physiologische Punkt für den inneren Meridian am kleinsten ist. Bei 50° hat er ungefähr denselben Wert, wie auf den anderen bei 40° , und bei 60° ist er noch kleiner, als auf dem äußeren bei 50° .

Mit den Versuchen von GROENOUW ist ein genauer Vergleich nur möglich an denjenigen Stellen, wo seine Grenzen mit den unsrigen zusammenfallen. So reicht die Kurve für einen Punkt von 0,25 mm bei GROENOUW fast überall bis zu 10° , für den äußeren Meridian auffallenderweise am weitesten. Das Netzhautbild eines solchen beträgt für die Entfernung des FÖRSTERSchen Perimeters (314 mm) 0,012 mm, was für meinen äußeren und inneren Meridian ziemlich gut stimmt, nach oben und unten ist die Empfindlichkeit bei mir entschieden geringer. Bei 50° nach *A* hat GROENOUW 0,096, stimmt also mit mir bis auf 0,001 mm. Eine weitere Stichprobe läßt sich bei 30° unten und oben machen, welche Stelle bei GROENOUW genau, bzw. fast genau von der 1,0 mm-Kurve geschnitten wird. Das zugehörige Netzhautbild ist = 0,048, also mit dem meinigen übereinstimmend. Bei 40° nach oben (im Gesichtsfelde) ist es bei GROENOUW = 0,096, also größer als bei mir. Bei 65° auf dem inneren Meridian hat GROENOUW 0,096, ich bei 60° 0,08. Überhaupt ergibt sich im allgemeinen, abgesehen von einzelnen Schwankungen, welche wohl auf individuellen Unterschieden beruhen, eine so gute Übereinstimmung, wie sie bei derartigen Untersuchungen überhaupt zu erwarten ist.

B. Lichtsinn.

Während die Leistungsfähigkeit der Netzhaut für alle Arten der Wahrnehmung immer mehr abnimmt, je weiter exzentrisch die Erregung fällt, ist von verschiedenen Seiten für den Lichtsinn eine Ausnahmestellung beansprucht worden. Die Empfindlichkeit der Peripherie für Helligkeitsunterschiede sollte der des Zentrums nicht nur nicht nachstehen, sondern, dieselbe sogar übertreffen.

Eines der beliebtesten Beispiele, um dies zu begründen, ist die bekannte Erfahrung der Astronomen, daß man lichtschwache Sterne weniger gut beobachtet bei direkter Betrachtung, als wenn man ihr Bild auf eine etwas seitlich von der Fovea ge-

legene Stelle fallen läßt. TREITEL u. A. glauben diese und ähnliche Beobachtungen zum großen Teile dadurch erklären zu können, daß die Adaptation des Zentrums im Vergleich zu derjenigen der Peripherie erheblich langsamer vor sich geht. Wenn das Sehorgan vorher hellem Lichte ausgesetzt war, so würde die Peripherie infolgedessen viel früher in der Lage sein, auf feine Reize zu reagieren, als das Zentrum. Das nicht adaptierte Auge sehe infolgedessen seitlich besser, als zentral, wohingegen schon FÖRSTER betont habe, daß eine ausgeruhte Retina im Zentrum besseren Lichtsinn habe, als in der Peripherie. Eine nähere Kritik der diesen Gegenstand betreffenden Versuche liegt nicht in meiner Absicht. Die Litteratur ist ziemlich vollständig bei TREITEL,¹ sowie auch bei SCHADOW² angegeben. Es sei nur bemerkt, daß fast von allen Untersuchern die Objekte sehr groß gewählt sind, so daß eine eigentliche Untersuchung des Zentrums, wenigstens wenn man darunter die fast punktförmige Stelle des deutlichsten Sehens versteht, gar nicht stattfand. Einzelne dieser Angaben sind mir überhaupt unverständlich. Wenn z. B. SCHADOW behauptet, ein Licht, welches mit dem Spiegel abwechselnd auf das Zentrum und eine diesem benachbarte Stelle geworfen würde, erscheine im letzteren Falle heller, als im ersteren, so muß ich umgekehrt sagen, daß ich in dem Augenblicke, wo die Flamme das Zentrum trifft, das Gefühl einer blendenden Helligkeit habe, welches sofort aufhört, wenn das Bild weiter wandert. Es ist doch wohl auch eine ganz alltägliche Erfahrung, daß es unangenehmer ist, einen hellen Gegenstand direkt zu betrachten, als mit einer exzentrischen Stelle. Das Verhalten der Nachbilder spricht ebenso dafür, daß die Erregungsvorgänge im ersteren Falle weitaus lebhafter sind, was doch nur auf einer größeren Empfindlichkeit der getroffenen Stelle beruhen kann.

Will man die Helligkeitsempfindung dem Sehpurpur und somit den Stäbchen zuschreiben, so wird man zugeben müssen, daß für das Zentrum eine andere Einrichtung vorhanden ist, da dieses doch auch zweifellos Helligkeitsempfindung hat, die sich höchstens quantitativ von derjenigen der Peripherie unterscheidet. Sind aber die Stäbchen wirklich in besonderem

¹ *Arch. f. Ophthalm.* XXXV. 1.

² *Pflügers Arch.* XIX.

Maße bei der Helligkeitsempfindung beteiligt, so wäre es immerhin auffallend, daß dieselben bis an die Peripherie eine gleich bleibende oder gar zunehmende Empfindlichkeit besäßen, die keiner der für die anderen Wahrnehmungen vorhandenen Einrichtungen zukommt. Der Gang der Lichtstrahlen im Auge sollte schon bedingen, daß ein Objekt weniger hell erscheint, je weiter es sich von der Gesichtslinie entfernt, da von einem seitlich stehenden Lichte ein schmalerer Kegel in die Pupille fällt, als von einem zentral fixierten.

CHARPENTIER¹ hat den Einfluß der Größe des Netzhautbildchens auf die Helligkeitsempfindung für Zentrum und Peripherie einer vergleichenden Prüfung unterzogen und dabei gefunden, daß dieselbe gänzlich unverändert bleiben kann zur Erzielung derselben Wahrnehmung. Er bediente sich eines Quadrates, welches in einem dunklen Kasten durch abgeschwächtes Tageslicht beleuchtet war, und dessen Seiten sich durch gegenseitige Verschiebung verkleinern resp. vergrößern ließen. Er fand, daß die Größe desselben an allen untersuchten Stellen ca. 1 mm² betragen mußte, damit es sichtbar wurde. Nach der Versuchsanordnung handelte es sich ungefähr um dasselbe, wie wenn man einen weißen Punkt auf schwarzem Hintergrunde betrachtet. Warum zu dessen Wahrnehmung auch bei zentraler Fixation ein so großer Winkel erforderlich war, wie ihn CHARPENTIER angiebt, ist nicht recht ersichtlich, da man sonst bei normalen Augen viel geringere Werte findet.

Bei meinen eigenen Versuchen suchte ich, entsprechend unserer Definition des Wortes „Lichtsinn“, die Bildgröße, welche erforderlich ist, um einen Helligkeitsunterschied eben wahrzunehmen. Dieser letztere sollte dabei für Zentrum und Peripherie gleich bleiben und nur die Größe des Objektes veränderlich sein. Es wurden zu diesem Zwecke zwei Kreisflächen von 2 mm Durchmesser hergestellt, welche einen gegenseitigen Abstand von einigen Millimetern hatten, und nun durch den Versuch zwei geeignete Töne Grau bestimmt, welche so gewählt waren, daß sie auch bei möglichst kleinen Netzhautbildern unterschieden werden konnten. Der Blick durfte dabei von der einen zur anderen wandern, um sie abwechselnd auf der Stelle des deutlichsten Sehens bzw. der gerade unter-

¹ *Arch. de physiol.* 1877.

suchten exzentrischen Stelle zu entwerfen. Um die betreffenden Töne näher bestimmen zu können, wurden dieselben gleich auf größere runde Scheiben übertragen, welche zur Untersuchung am Kreisel benutzt werden konnten. Am geeignetsten schienen mir nach vielfachen Versuchen zwei Töne, von denen der eine $120^\circ S + 240^\circ W$, der andere $220^\circ S + 140^\circ W$ entsprach. Ein Unterschied zwischen beiden konnte noch erkannt werden bei einem Netzhautbilde von 0,0045 mm, welches also wohl ziemlich genau einen Zapfen decken mußte. Ich will nicht behaupten, daß dies die geringste Helligkeitsdifferenz ist, die man bei dieser Größe des Netzhautbildes erkennen kann, aber um den Versuch nicht zu sehr zu erschweren und die Bestimmungen nicht zu schwankend zu machen, wollte ich nicht bis an die äußerste Grenze gehen. Jedenfalls kann ich von derselben nicht sehr weit entfernt gewesen sein, und es ergibt sich aus diesen Zahlen, daß die Unterschiedsempfindlichkeit eines einzelnen Elementes nicht annähernd dieselbe ist wie diejenige der gesamten Netzhaut, was ja auch aus den verschiedensten Gründen nicht anders zu erwarten war. Die notwendige Verkleinerung fand in der oben angegebenen Weise statt, und war überhaupt die Versuchsanordnung dieselbe wie beim Raumsinn. Für die Peripherie wurde den beiden Punkten eine solche Lage gegeben, daß ihre Verbindungslinie senkrecht stand auf dem zu untersuchenden Meridiane. Die tabellarische Zusammenstellung zeigt folgendes Bild.

T a b e l l e 2.

	<i>I</i>	<i>A</i>	<i>O</i>	<i>U</i>
10°	0,029	0,028	0,03	0,029
20°	—	0,045	0,053	0,051
25°	0,048	—	—	—
30°	—	0,065	0,06	0,06
35°	0,062	—	—	—
40°	—	0,09	0,073	0,081
50°	0,087	0,13	—	—
60°	0,1	—	—	—

Die Zahlen dieser Tabelle bedeuten den Durchmesser desjenigen Netzhautbildchens, bei welchem jedesmal dieselbe

Helligkeitsdifferenz erkannt werden konnte, für die im Zentrum ein Durchmesser von 0,0045 mm erforderlich war. Es ergibt sich somit ein stetiges Anwachsen der für dieselbe Wahrnehmung erforderlichen Fläche nach der Peripherie hin. Am meisten bevorzugt ist wiederum der innere Meridian, welcher bei 60° noch einen kleineren Wert aufweist, als der äußere bei 50°.

Wir müssen somit annehmen, daß die Einrichtungen unseres Sehorganes, welche die betreffende Empfindung vermitteln, nach der Peripherie hin auf eine stetig größer werdende Fläche verteilt sind. Im Vergleiche zum physiologischen Punkt finden wir folgende Werte.

T a b e l l e 3.

	<i>I</i>	<i>A</i>	<i>O</i>	<i>U</i>
10°	1,5	1,5	1,4	1,12
20°	—	1,34	1,4	1,37
25°	1,3	—	—	—
30°	—	1,3	1,23	1,3
35°	1,4	—	—	—
40°	1,3	1,3	1,3	1,3
50°	—	1,36	—	—
60°	1,2	—	—	—

Die Zahlen sind die Maße für den Durchmesser des Netzhautbildchens, wenn der des physiologischen Punktes der betreffenden Stellen = 1 gesetzt wird. Auf dieselbe Weise finden wir für das Zentrum 1,3, also bis auf wenige Zehntel vollkommene Übereinstimmung für alle Stellen. Zur Wahrnehmung eines Helligkeitsunterschiedes muß das Netzhautbild somit an allen geprüften Stellen um fast dasselbe Maß größer sein, als für das Bildchen eines eben wahrnehmbaren dunklen Punktes. Die kleinen Schwankungen dürften auf die unvermeidlichen Beobachtungsfehler zurückzuführen sein. Man darf wohl annehmen, daß innerhalb gewisser Grenzen sich dies für beliebige andere Helligkeitsunterschiede ebenso verhalten würde, d. h. also, daß für Zentrum wie Peripherie ein eben sichtbares Objekt in gleichem Maße vergrößert werden muß, um an demselben die nämliche Helligkeitsdifferenz zu unterscheiden.

Da es sich bei diesen Empfindungen nur um quantitativ verschiedene Erregungszustände der schwarz-weiß empfindenden Substanz handelt, so könnte man versucht sein, in derselben Weise auch die Schwellenwerte für andere Wahrnehmungen, die durch Erregung der schwarz-weißen Substanz übermittelt werden, zu suchen, z. B. diejenige GröÙe des Netzhautbildes, die erforderlich ist, um sich über eine bestimmte Form eines schwarzen Objektes auf weißem Hintergrunde ein Urteil zu bilden. Aber selbst wenn man bei den allereinfachsten Formen bleibt, kommt man zu höchst schwankenden Werten, die nicht zu vereinbaren sind, weil der in der Sehsubstanz sich abspielende Prozeß zu viele uns unbekannte Stationen und Nebenschließungen auf psychischem Gebiete durchlaufen muß, bis die Deutung des Eindruckes zu stande kommt.

C. Farbensinn.

Die Grenzen für Blau und Gelb werden bei Untersuchung der Netzhautperipherie mit farbigen Papieren bekanntlich weiter gefunden, als die für Rot und Grün. Die letzteren erleiden noch dadurch eine Einschränkung, daß die Töne Rot und Grün bei den meisten Pigmenten eine Veränderung im peripheren Sehen erfahren, indem sie eine gelbliche oder bläuliche Färbung annehmen. Nach HERING erklärt sich dies in der Weise, daß die Rot und Grün empfindende Substanz einer-, die Blau und Gelb empfindende andererseits ungleich über die Netzhaut verteilt sind, so daß die letztere am weitesten in die vorderen Abschnitte hineinreicht. An der Grenze der ersteren wird ein rotes oder ein grünes Pigment, wenn es homogenes Licht reflektiert, farblos werden und nur noch Helligkeitsempfindung erzeugen. Sind die Töne aber nicht rein, sondern haben, wie gewöhnlich, einen Stich ins Gelbliche oder Bläuliche, so werden sie außerhalb jener Grenzen nur die Gelb und Blau empfindende Substanz in Erregung versetzen und die entsprechende Wahrnehmung hervorrufen. Die Grenzbestimmung ist jedenfalls leichter und schärfer, wenn die betreffenden Papiere gänzlich farblos werden, als wenn sie ihren Ton ändern, und darum ist es zweckmäßig, bei solchen Untersuchungen mit unveränderlichen Farben, den von HERING sog. Urfarben, zu operieren. Für unsere Zwecke war es notwendig, an den verschiedenen Netzhautstellen die GröÙe des Bildes zu bestimmen, bei welcher

dasselbe eben farbig wird, und ist hierbei natürlich die Reinheit des Tones ganz besonders erwünscht. Unter einer größeren Sammlung von Pigmenten dürften diese Urfarben wohl stets zu finden sein, doch kann man sie auch leicht herstellen. Haben wir z. B. ein gelbliches Rot, so wird man mit demselben den Eindruck eines reinen Rots hervorrufen können, wenn so viel Blau zugemischt wird, daß das gelbe Licht aus der Farbe verschwindet. Viel schärfer als bei zentraler Fixation läßt sich das Quantum dieses Zusatzes durch den Tonwechsel in der Peripherie bestimmen. Die Farbe ist erst dann rein, wenn sie bei exzentrischer Fortbewegung lediglich an Sättigung verliert, aber im Tone unverändert bleibt. Zu wenig Blau wird sich durch Übergang in einen gelblichen, zu viel durch Übergang in einen bläulichen Ton zu erkennen geben. Für Grün gilt natürlich dasselbe.

Unter den mir zur Verfügung stehenden farbigen Scheiben suchte ich zwei möglichst gesättigte aus und fand, daß ich der roten, um sie unveränderlich zu machen, einen Sektor von 20° Blau zusetzen mußte, der grünen einen solchen von 40° Blau. Streng genommen, müßte man jedesmal vor Beginn eines neuen Versuches diese Mischungen kontrollieren, da sie je nach der Beleuchtung sich ändern. Ich überzeugte mich aber davon, daß die Schwellenwerte ihrer Netzhautbilder dadurch nicht merklich beeinflusst werden, und suchte diese Schwankungen auch auf die Weise einzuschränken, daß ich stets zu derselben Tageszeit und bei gleicher Witterung experimentierte.

Man kann sich von der Richtigkeit der Mischung durch einen Kontrollversuch¹ überzeugen, indem man aus dem betreffenden Rot, Grün und Blau eine farblose Mischung herstellt, in welcher also das Rot dem Grün und das Blau dem in den beiden anderen vorhandenen Gelb die Wagschale hält. Die drei Sektoren, welche die farblose Mischung geben, seien *R*, *Gr* und *Bl*. Die Größe dieses letzteren Sektors *Bl* ist auch aus unseren beiden ersten Mischungen zu finden. Angenommen, wir hätten festgestellt, daß das unveränderliche Rot durch zwei Sektoren, $r + bl$, das unveränderliche Grün durch $gr + bl$ gebildet wird, so läßt sich durch die Proportion $r : bl = R : x$ und $gr : bl = Gr : y$ die Größe für den blauen Sektor

¹ Siehe HESS, *Arch. f. Ophthalm.* XXXV. 4.

finden, welcher den obigen Werten $R + Gr$ entspricht. Die Summe von $x + y$ muß gleich sein Bl , da dieses das Gelb von $R + Gr$ neutralisiert.

Mit unseren Farben konnte Grau gemischt werden aus $125 R + 205 Gr + 30 Bl$. Nach der Rechnung hätten es 32,3 Blau sein müssen, also eine Genauigkeit, die jeder, der mit solchen Versuchen vertraut ist, als ausreichend anerkennen wird.

Blaue und gelbe Scheiben von genügender Reinheit sind leichter zu finden. Eine geringe Beimischung von Rot wird sich bei diesen dadurch bemerklich machen, daß der Farbenton an der Grenze der Rotempfindung von einem rötlich Gelb und rötlich Blau in reines Gelb bzw. Blau übergeht. Bei diesen beiden Tönen ist eine solche Beimischung aber weniger störend, da die Grenzen, innerhalb deren sie überhaupt farbig erscheinen, dadurch nicht verändert werden können. Sowie man einen farbigen Eindruck hat, muß also auch eine Erregung der Blau-Gelb empfindenden Substanz vorliegen.

Die Versuchsanordnung wurde, um die auf dem Farbkreis hergestellten Mischungen benutzen zu können, in der Weise verändert, daß in 1 m Entfernung vom Beobachter dieser rotierende Kreis mit den passenden Sektoren aufgestellt wurde. Zwischen ihm und der Röhre, durch welche hindurchgesehen wurde, stand ein schwarzer Schirm mit einem größeren Ausschnitte, in welchen kleine Schieber mit je einer Öffnung von 2, 5, 10 und 20 mm Durchmesser eingesetzt werden konnten. Durch letztere hindurch sah man also die farbige Scheibe, und ließ sich das Netzhautbild teils durch das Einstellen verschieden großer Öffnungen, teils durch An- und Abrücken des Schirmes vergrößern bzw. verkleinern. Die Anwendung der Linse war nur noch für das Zentrum und dessen nähere Umgebung notwendig, da ja die Wahrnehmung von Farben ein verhältnismäßig großes Netzhautbild erfordert.

Die Ergebnisse sind ähnlich wie oben auf zwei Tabellen (4 und 5) zusammengestellt, in der Weise, daß die erste den Durchmesser desjenigen Netzhautbildes angiebt, welches eben die betreffende farbige Empfindung an der untersuchten Stelle auslöst; die zweite giebt das Verhältnis zum physiologischen Punkte, wenn dieser gleich 1 gesetzt wird.

Die entsprechenden Werte für das Zentrum sind folgende: Blau 0,019, Gelb 0,007, Rot 0,007, Grün 0,011. Das Verhältnis

zum physiologischen Punkt ist hier für Blau 5,4, Gelb 2,0, Rot 2,0, Grün 3,0.

Tabelle 4.

	Blau				Gelb				Rot				Grün			
	I	A	O	U	I	A	O	U	I	A	O	U	I	A	O	U
10°	0,035	0,037	0,045	0,04	0,03	0,033	0,025	0,032	0,059	0,06	0,08	0,08	0,07	0,08	0,09	0,08
20°	—	0,063	0,072	0,08	—	0,068	0,068	0,079	—	0,13	0,18	0,2	—	0,17	0,17	0,17
25°	0,053	—	—	—	0,067	—	—	—	0,14	—	—	—	0,17	—	—	—
30°	—	0,13	0,15	0,15	—	0,126	0,15	0,14	—	0,28	0,34	0,4	—	0,28	0,32	0,32
35°	0,084	—	—	—	0,096	—	—	—	0,29	—	—	—	0,33	—	—	—
40°	—	0,17	0,32	0,32	—	0,16	0,35	0,31	—	0,63	0,7	0,6	—	0,6	0,6	0,59
50°	0,229	0,28	—	—	0,21	0,29	—	—	0,6	—	—	—	0,64	—	—	—
60°	0,387	—	—	—	0,45	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Tabelle 5.

	Blau				Gelb				Rot				Grün			
	I	A	O	U	I	A	O	U	I	A	O	U	I	A	O	U
10°	1,6	1,9	2,0	1,7	1,6	1,7	1,2	1,3	3,3	3,2	3,6	3,3	4,0	4,2	4,1	3,3
20°	—	1,8	2,0	2,1	—	1,9	1,8	2,1	—	3,7	5,0	5,4	—	4,8	4,6	4,6
25°	1,43	—	—	—	1,9	—	—	—	4,0	—	—	—	4,7	—	—	—
30°	—	2,6	3,0	3,2	—	2,5	3,0	3,0	—	5,6	7,0	8,7	—	5,6	6,5	7,0
35°	2,0	—	—	—	2,3	—	—	—	6,9	—	—	—	7,0	—	—	—
40°	—	2,4	5,6	5,1	—	2,3	6,0	5,0	—	9,0	12,0	10,0	—	8,6	10,0	9,6
50°	3,5	3,1	—	—	3,2	3,2	—	—	9,2	—	—	—	8,0	—	—	—
60°	4,6	—	—	—	5,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Aus dem Durchmesser des Netzhautbildes ergibt sich zunächst, dafs meine Fovea nicht blaublind ist, da derselbe ungefähr gleich ist dem von 4 Netzhautzapfen. Man mufs sich freilich bei dieser Untersuchung vor unwillkürlichen kleinen Bewegungen hüten, da die Blauempfindung dadurch viel deutlicher wird. Es gelingt mir aber ganz sicher, auch bei streng zentraler Fixation ein blaues Pigment bei einem Netzhautbilde zu erkennen, dessen Durchmesser den der Fovea bei weitem nicht erreicht. Es zeigt aber die Tabelle die bekannte That-

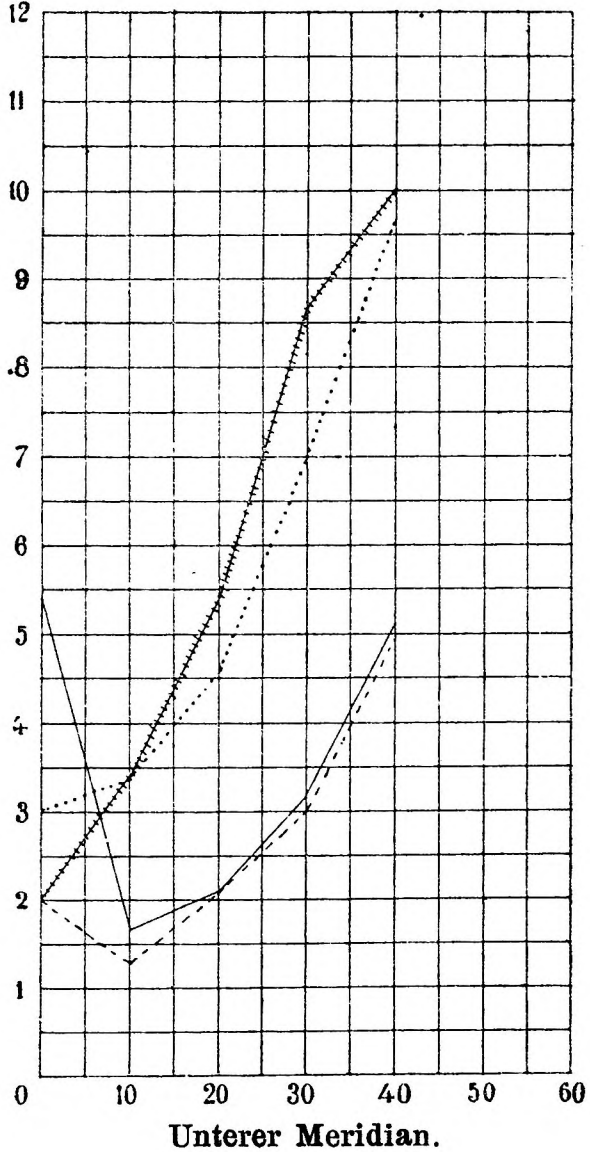
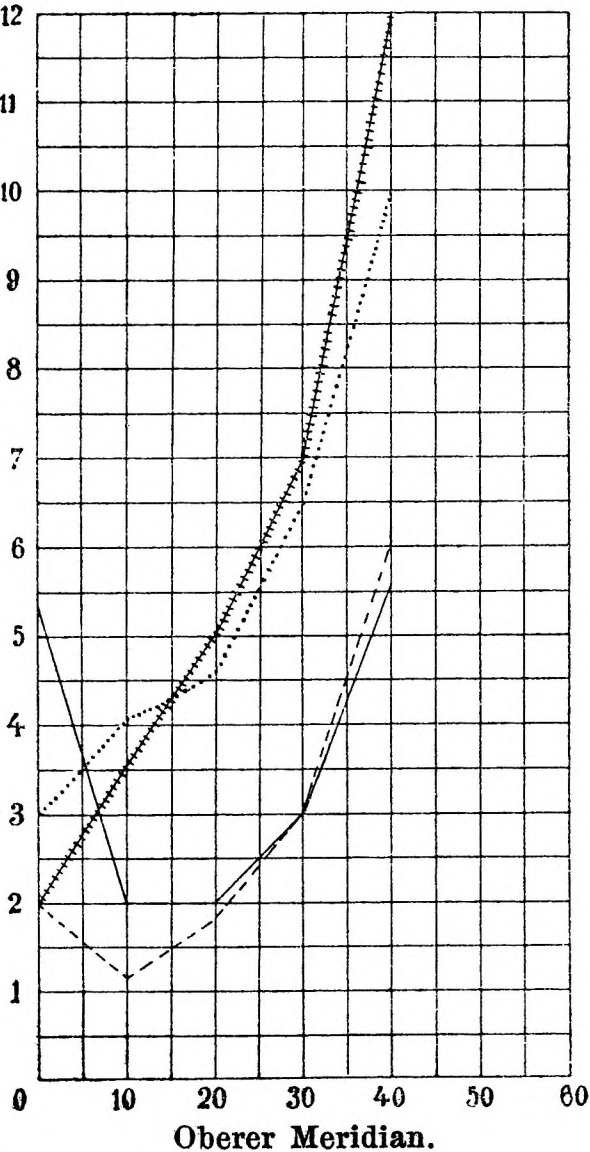
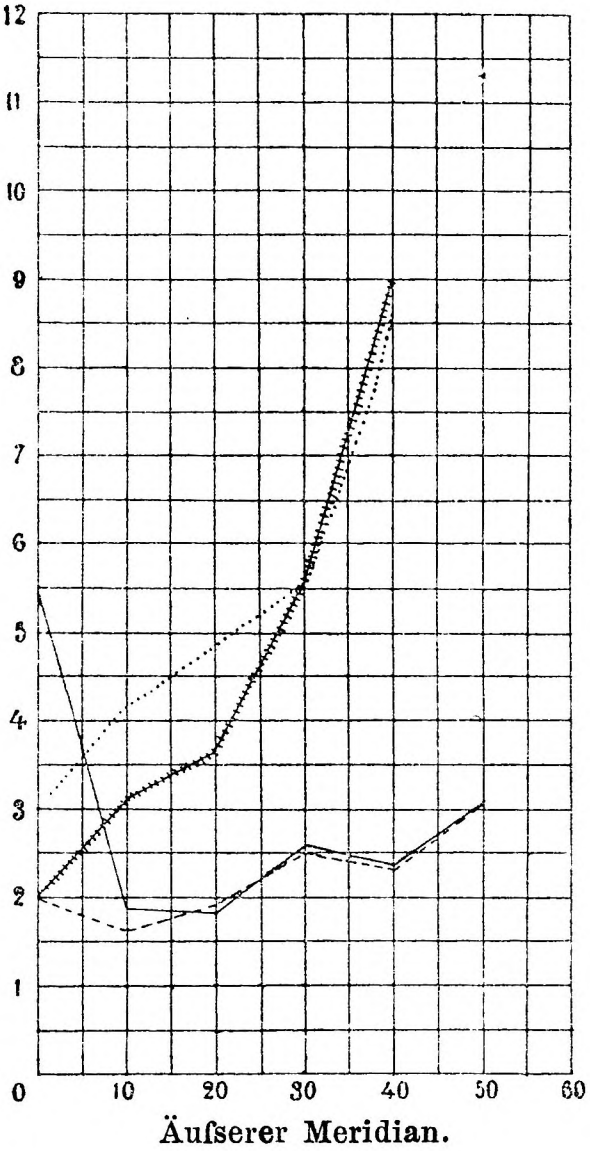
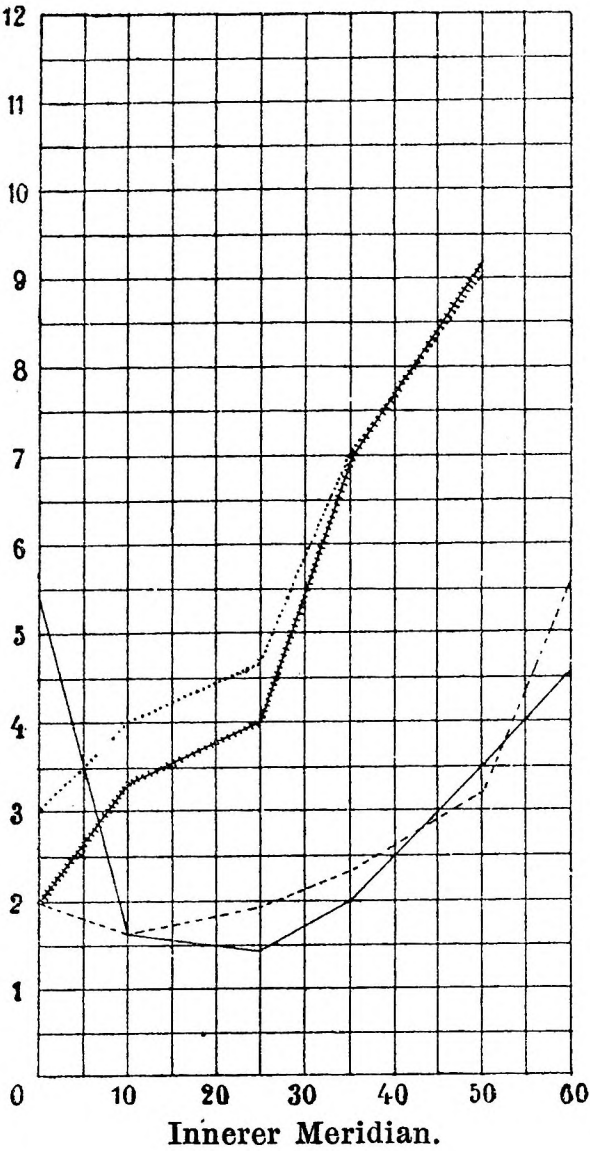
sache, daß die Blauempfindung im Zentrum wesentlich geringer ist, als die der übrigen Farben, ich finde sie sogar, mit unserem Maßstabe gemessen, geringer, als in der äußersten Peripherie. Man sieht deutlich auf beiden Tabellen, an welchen Stellen der farbenempfindende Stoff anfängt spärlicher zu werden, indem daselbst die gefundenen Werte ganz unverhältnismäßig anwachsen. Am klarsten zeigt dies die zweite, weil sie beweist, daß nicht nur eine absolute Zunahme, sondern auch eine relative im Vergleich zu einer anderen Wahrnehmung, nämlich der des physiologischen Punktes, stattfindet, und habe ich zur besseren Veranschaulichung ihre Zahlen auf Kurventafeln wiedergegeben, auf welchen diese die Ordinaten, die Netzhautgrade die Abscissen darstellen.

Im einzelnen bestätigen die Ergebnisse die HERINGSche Ansicht im Gegensatze zu den Angaben KIRSCHMANNs,¹ insofern die rote Kurve der grünen und die blaue der gelben sehr ähnlich ist, während sie, paarweise betrachtet, große Verschiedenheiten darbieten. Daß auch die Gelbkurve im Zentrum ein etwas ungünstigeres Verhältnis zum physiologischen Punkte aufweist, als die nächste Peripherie, liegt natürlich nicht an einer verminderten Empfindlichkeit des ersteren gegen diese Farbe, sondern an der verhältnismäßig großen Überlegenheit des Zentrums für den Raumsinn, welche ja im Interesse der zentralen Sehschärfe erforderlich ist. Die Empfindlichkeit für Gelb nimmt hierdurch anfangs langsamer ab, als für den physiologischen Punkt, während die relativ schnelle Abnahme der Rot- und Grünempfindung das sofortige Ansteigen ihrer beiden Kurven bedingt. Das Verhältnis ist für Blau und Gelb am günstigsten auf der Strecke von der näheren Umgebung des Zentrums bis etwa zu 30° . Von da ab beginnt die Kurve zu steigen, und zwar langsamer nach *I* und *A*, als nach *O* und *U*. Auf diesen letzteren Meridianen haben die Zahlen bei 40° ungefähr das Dreifache des Wertes, den sie bei 10° haben, während sie dies nach *A* und *I* erst bei 50° bis 60° erreichen. Dieselbe Bevorzugung des inneren und äußeren Meridians ergibt sich auch bei der Rot- und Grünempfindung.

Diese Kurven entwerfen, so zu sagen, ein geometrisches Bild der Verteilung der verschiedenen empfindenden Substanzen,

¹ WUNDT, *Philos. Stud.* Bd. 8.

- Blau
- - - Gelb
- + + + + + Roth
- · · · · Grün



wobei wir nur von der Blauempfindung des Zentrums aus bekannten Gründen absehen müssen. Während die blau-gelbe Substanz bis in die mittlere Zone sich fast unvermindert erhält, zeigt die rot-grüne schon von 10° an eine bedeutende Abnahme gegenüber dem Zentrum, welche sehr schnell nach der Peripherie fortschreitet. Bei 40° erreicht das bezügliche Netzhautbild schon eine Gröfse, welche beweist, daß die empfindliche Substanz nur noch sehr spärlich über die Fläche verteilt sein kann. Jedenfalls wird jeder Punkt der Netzhaut-peripherie, an welchem alle vier Farben wahrgenommen werden, am leichtesten von Blau und Gelb, am schwersten von Rot und Grün erregt.

Bis zu 25° bis 30° nach allen Richtungen zeigt das Netzhautbildchen für die Blaugelbempfindung fast dasselbe Verhältnis zum physiologischen Punkte, wie wir es für die einfache Helligkeitswahrnehmung gefunden haben. Daß die beiden Funktionen aber nicht an dieselben Elemente geknüpft sein können, beweist das baldige Ansteigen der Kurve für die erstere bei weiterem Fortschreiten nach der Peripherie, während die der zweiten, wenn wir sie darstellen wollten, der des physiologischen Punktes fast parallel verlaufen müßte.

Die gefundenen Zahlen liefern gleichsam eine mathematische Bestätigung des von HERING aufgestellten Satzes, „daß die schwarz-weiß empfindende Substanz viel reichlicher im Sehorgane enthalten ist, als die rot-grüne und die blau-gelbe, und daß auch diese beiden untereinander nicht gleich sind“. Würde man sich der mühevollen Arbeit unterziehen, die zur Untersuchung verwandten Pigmente in Bezug auf ihre farbige Valenz und ihre Helligkeit gleich zu machen, was bei den verschiedenen Schwankungen der Tagesbeleuchtung beinahe aussichtslos ist, so würden die Grenzen für diese Verteilung der verschiedenen Substanzen wohl noch schärfer zu bestimmen sein, eine wesentliche Änderung des Bildes dürfte eine solche Vervollkommnung aber schwerlich herbeiführen. Um absolute Werte zu finden, braucht man nur die Gröfse der Netzhautbilder selbst als Ordinaten der Kurven zu nehmen. Uns kam es mehr darauf an, die relative Verteilung der den einzelnen Empfindungen zu Grunde liegenden Substanzen an den verschiedenen untersuchten Netzhautstellen zu ermitteln.

Es gelingt nicht, die Anordnung der histologischen Ele-

mente der Netzhaut, welche wir als die lichtempfindenden ansehen, mit diesen Ergebnissen in Einklang zu bringen, so daß wir solche von bestimmter Beschaffenheit innerhalb der Grenzen der einzelnen Wahrnehmungen anträfen. Wir sind daher genötigt, dieselben entweder dieser Bedeutung zu entkleiden und uns nach anderen umzusehen, oder anzunehmen, daß sie in verschiedenem Umfange mit chemischen Stoffen ausgerüstet sind, welche sie zu den einzelnen Empfindungen befähigen.

Aus dem Gesagten ergibt sich auch eine praktische Nutzanwendung, nämlich die, daß man, um feinere Störungen des Licht- und Farbensinnes festzustellen, nicht eine beliebig große Fläche wählen darf, sondern eigentlich nur eine solche, deren Ausdehnung der normalen Empfindlichkeit der betreffenden Stelle entspricht. Unsere Funktionsprüfungen werden uns die besten Aufschlüsse geben, wenn sie sich immer möglichst den Grenzen des für das normale Auge Erreichbaren nähern. Dieser Grundsatz ist in Bezug auf die Größe des Netzhautbildes bei den perimetrischen Untersuchungen bisher kaum berücksichtigt worden. Eine Ausnahme macht der Vorschlag GROENOUWS, die Netzhautperipherie mit einzelnen Punkten zu untersuchen, indem die Grenzen, innerhalb welcher solche von bestimmter Größe erkannt werden können, bei Kranken und Normalen verglichen werden. Dadurch, daß diese Methode das eben Erreichbare verlangt, erklärt sich ihre Überlegenheit zur Diagnose feinerer Störungen. Es würde keine großen technischen Schwierigkeiten machen, farbige Punkte sowie solche von verschiedener Helligkeit in demselben Sinne zu verwenden, wenngleich eine derartige Prüfung an die Intelligenz des Untersuchten nicht geringe Anforderungen stellt. Ob Störungen des Farbensinnes vorkommen bei normaler Empfindlichkeit der einen oder anderen der übrigen Funktionen, und umgekehrt, dürfte sich mit Sicherheit erst bei einer solchen Verfeinerung der Methode feststellen lassen. Inwieweit hierdurch eine Vervollkommnung der perimetrischen Untersuchung zu erzielen ist, muß die klinische Beobachtung entscheiden.
