

Ueber die Helligkeitsempfindung im indirecten Sehen.

von

A. Kirschmann.

Mit 7 Holzschnitten.

Wenn wir eine durch Erregung der seitlichen Netzhaut hervorgerufene und zur Perception gelangte Gesichtsempfindung in den Blickpunkt unserer Aufmerksamkeit erheben, so pflegen wir in der Regel gleichzeitig das Bild des die Gesichtswahrnehmung verursachenden Objectes durch entsprechende Bewegungen des Auges nach der Fovea centralis als der Stelle des deutlichsten Sehens zu rücken. Es ist jedoch nicht unbedingt nothwendig, dass äußerer und innerer Blickpunkt stets zusammenfallen. Bei einiger Uebung gelangt man leicht dahin, unter Beibehaltung des einmal gewählten Fixirpunktes die Aufmerksamkeit auf indirect gesehene Gegenstände zu lenken.

Weniger bewusst wenden wir das indirecte Sehen weit häufiger an. Bei der Orientirung im Raume, beim Gehen und Laufen wie bei anderen Körperbewegungen leistet es vorzügliche Dienste, welche man jedoch, eben weil die betreffenden Wahrnehmungen nur percipirte, nicht appercipirte sind, gewöhnlich nicht recht zu würdigen weiß. Bei manchen Arbeiten spielt das indirecte Sehen eine fast eben so bedeutende Rolle wie das directe, so beim Zeichnen und Malen. Verdeckt man das Auge durch eine innen geschwärzte Röhre, deren vorderes Ende eine kleine Oeffnung besitzt, so empfängt nur die Stelle des deutlichsten Sehens Licht, und es ist interessant zu beobachten, wie man sich nach einigem Umherblicken kaum mehr zurecht finden kann. Versucht man mit so ausge-

rüstetem Auge Figuren an eine Wandtafel zu zeichnen, so kommen, obgleich man die Spitze des zeichnenden Stiftes deutlich sieht und den Blickpunkt an den gezeichneten Strichen entlang bewegen kann, nur ganz verzerrte Formen zu Stande. Bringt man dagegen eine Vorrichtung vor's Auge, welche den Zutritt des Lichtes zur Centralgrube verhindert, die übrige Netzhaut aber frei lässt, so sieht man zwar keinen Gegenstand genau, aber man findet sich im Raume zurecht, und bei dem Versuche, einfache geometrische Figuren zu zeichnen, entstehen, da man die Spitze des Stiftes und deren nächste Umgebung nicht sieht, zwar unschöne, oft unterbrochene Linien, aber die Formen im Ganzen werden verhältnissmäßig richtig.

Auch beim Lesen operiren wir keineswegs ausschließlich mit dem directen Sehen. Wir fixiren nicht jeden einzelnen Buchstaben, wie es der Corrector thun soll, sondern lassen den Fixationspunkt von einem Worte zum andern überspringen, wobei höchstens ein, oder bei längeren Wörtern zwei Buchstaben scharf in's Auge gefasst werden. Die übrigen werden indirect gesehen und dabei doch richtig erkannt. Beim Lesenlernen der Kinder spielt das Einüben des indirecten Sehens eine wesentliche Rolle. Daraus mag es sich auch erklären, dass stark kurzsichtige, aber sonst ganz intelligente Kinder in der Regel weit langsamer als normalsichtige ein zusammenhängendes Lesen erlernen. Da sie die Schrift sehr nahe vor das Auge bringen müssen, so nehmen die Bilder der Wörter einen viel größeren Raum auf der Netzhaut ein, und es können dann auch nur Zeichengruppen von geringerem Umfange auf einmal aufgefasst werden.

Dass zum Lesen das directe Sehen nicht absolut nothwendig ist, ersieht man daraus, dass es möglich ist, auch eine nicht fixirte Zeile eines Buches zu lesen. Nach einigen Versuchen ist man im Stande, die zweite oder gar dritte Zeile über oder unter derjenigen, in welcher der äußere Blickpunkt sich bewegt, zu lesen. Es sei hierbei erwähnt, dass die kleinen deutschen Druckbuchstaben im indirecten Sehen besser erkannt werden als die der lateinischen Druckschrift, während die großen lateinischen Anfangsbuchstaben weniger Schwierigkeit machen als die deutschen.

Die Wichtigkeit des indirecten Sehens darf somit nicht unter-

schätzt werden. Während wir uns aber von den Empfindungen, welche durch die Erregung der centralen Netzhaut ausgelöst werden, in genauester Weise Rechenschaft zu geben vermögen, arbeiten wir mit der seitlichen Retina meist dunkler bewusst, obgleich gerade die seitlichen Partien bei fast allen Gesichtsvorstellungen wesentlich mitwirken. Wir nehmen daher auch die Verschiedenheiten zwischen directem und indirectem Sehen nur unvollkommen wahr, und es bedarf besonderer Anstrengung, um die durch die Erregung der seitlichen Netzhaut entstehenden Empfindungen zu isoliren und für sich allein in den Blickpunkt des Bewusstseins zu erheben. Infolgedessen ist die Untersuchung dieses Gegenstandes sehr erschwert, und man ist leicht geneigt, der herkömmlichen Annahme zuzustimmen, dass die Empfindlichkeit der Netzhaut im allgemeinen nach der Peripherie hin abnehme. Dass diese Annahme nach einer gewissen Seite hin ungerechtfertigt ist, soll in Nachstehendem gezeigt werden.

Zwei von gleichen physikalischen Ursachen hervorgerufene, aber von verschiedenen Theilen der Netzhaut aufgenommene Licht-eindrücke können in dreifacher Weise verschieden sein:

- 1) hinsichtlich der Deutlichkeit,
- 2) hinsichtlich der Qualität der Empfindung,
- 3) hinsichtlich der Intensität.

Was zunächst die Deutlichkeit anbelangt, so nimmt dieselbe infolge der ungünstigeren Brechungs- und Accommodationsverhältnisse nach der Peripherie hin ab. Indessen scheinen die angeführten Ursachen nicht die einzigen zu sein, da man an den Augen von Kaninchen die Beobachtung gemacht hat, dass die Netzhautbildchen auch auf peripherischen Theilen noch scharf conturirt sind. Man führt daher die Undeutlichkeit der Wahrnehmung vorzugsweise auf die ungleiche Vertheilung der empfindenden Endorgane zurück, welche in der Centralgrube am dichtesten, nach der Peripherie hin aber weiter aus einander stehen.

Hinsichtlich der Qualität der Empfindung erfahren die Gesichtswahrnehmungen auf der seitlichen Netzhaut ganz wesentliche Modificationen. Es ist bekannt, dass in einiger Entfernung vom Netzhautcentrum nur noch die Farben Gelb und Blau, in noch größerer Entfernung aber überhaupt keine Farben mehr erkannt, sondern

nur mehr Helligkeitsunterschiede wahrgenommen werden. Also auch in dieser Beziehung sind die durch die seitliche Retina vermittelten Wahrnehmungen unvollkommener als die des directen Sehens. Aber schon hier tritt uns eine Eigenthümlichkeit entgegen, welche mit der einfachen Annahme, dass die Lichtempfindlichkeit auf der seitlichen Netzhaut abnehme, in entschiedenem Widerspruch steht. Die Veränderungen, welche die Farben im indirecten Sehen erleiden, sind nämlich ganz verschieden von denjenigen, welche bei Verminderung der objectiven Helligkeit eintreten¹⁾. Die dritte der möglichen Verschiedenheiten, diejenige der Intensität ist es, die uns im Nachstehenden etwas eingehender beschäftigen soll.

Fragen wir uns zunächst nach der objectiven Helligkeit des Netzhautbildchens, so ist leicht einzusehen, dass dieselbe vom Centrum nach der Peripherie hin allmählich abnehmen muss. Sind *a*,

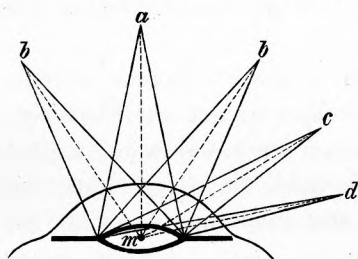


Fig. 1.

die Oeffnung der Kegel, deren Grundfläche die Pupille und deren Spitzen die leuchtenden Punkte sind. Da selbst bei mäßiger Entfernung der Lichtquellen der Durchmesser der Pupillen gegenüber den Seitenlinien der Kegel wenig in Betracht kommt, so kann man statt der Kegelöffnungen die zur Mittellinie senkrechten ebenen Schnittflächen setzen. Diese elliptischen Schnittflächen aber verhalten sich, wie eine einfache Rechnung ergibt, annähernd wie die Cosinus der Einfallswinkel des Lichtes. Man kann daher die Abnahme der objectiven Helligkeit der Netzhautbilder durch eine einem Abschnitte der Cosinuscurve sehr nahekommende Linie darstellen. (Streng genommen fällt dieselbe nur dann mit der Cosinuscurve zusammen, wenn die leuchtenden Punkte sich in unend-

1) Wundt, *Physiol. Psychologie*. 3. Aufl. Bd. I. S. 466.

licher Entfernung befinden; in jedem anderen Falle ist die die Helligkeitsabnahme darstellende Linie etwas stärker gekrümmt als die Cosinuscurve.)

Dass die Netzhautbildchen auf den seitlichen Partien thatsächlich lichtschwächer sind, dafür spricht auch nachstehender einfacher Versuch. Wenn man eine Lichtquelle von größerer Helligkeit vor das Auge bringt, so tritt eine Verengerung der Pupille ein. Lässt man nun die Lichtquelle, während die Entfernung vom Auge dieselbe bleibt, unter einem größeren Einfallswinkel auf das Auge wirken, so erweitert sich die Pupille wieder, und zwar um so mehr, je größer der Einfallswinkel wird. Die reflectorisch erfolgende Innervation des Sphincter pupillae ist also im zweiten Falle eine geringere, und da die Stärke der Innervation von der Größe des Reizes abhängig ist, so dürfen wir schließen, dass auch der Reiz ein geringerer gewesen sei, mit anderen Worten, das Netzhautbild war lichtschwächer.

Es sei an dieser Stelle darauf aufmerksam gemacht, dass es gänzlich unwahrscheinlich erscheinen muss, dass die ungleiche Vertheilung der die empfindenden Endorgane repräsentirenden Zapfen und Stäbchen, von welcher zwar der Grad der Deutlichkeit der Wahrnehmung abhängig sein wird, auch auf die Intensität der Empfindung einen Einfluss ausüben könne. Wir füllen den Raum zwischen den einzelnen empfindenden Nervelementen mit der durch diese letzteren vermittelten Empfindung aus, einerlei ob der Zwischenraum ein großer oder kleiner ist, wie dies die bekannte Ausfüllung des blinden Fleckes zur Genüge beweist. Erzeugen wir eine Druckfigur an der Grenze der Netzhaut, so hat dieselbe die in Fig. 2 angedeutete Gestalt. Sie erscheint hell im verdunkelten Gesichtsfeld, dagegen dunkel auf hellem Grunde. Ist die Druckfigur von ansehnlicher Größe, so erscheint bei erhelltem Sehfelde der Raum bei *a* dunkel; ist sie aber weniger ausgedehnt, so glaubt man den Raum bei *a* erhellt zu sehen und die der Peripherie der Netzhaut entsprechende Grenzlinie *xy* wahrzunehmen. Wir füllen also in diesem Falle sogar den Raum jenseits der Grenze des sensiblen Organs mit der in der Umgebung herrschenden Empfindung aus. Die abweichende



Fig. 2.

Zahl und Anordnung der Stäbchen und Zapfen in den peripherischen Regionen kann daher zwar die Schärfe des (subjectiven) Bildes beeinflussen, nicht wohl aber eine Aenderung in der Helligkeitsempfindung zur Folge haben.

Ist somit festgestellt, dass die objective Helligkeit des Netzhautbildes nach der Peripherie hin abnimmt, so entsteht die Frage, ob dieser objectiven Intensitätsabnahme eine parallel gehende Aenderung in der Empfindung entspricht.

Besäße die Netzhaut an allen Stellen die gleiche Empfindlichkeit, so müsste die Lichtempfindung, welche ein Gegenstand verursacht, an Intensität stets abnehmen, wenn das Object, dieselbe Entfernung vom Auge beibehaltend, aus dem Blickpunkte des Gesichtsfeldes entfernt würde. Eine gleichmäßig erhellte Fläche müsste infolgedessen an der fixirten Stelle am hellsten erscheinen; nach den Seiten hin aber müsste ihre Helligkeit scheinbar abnehmen. Dies ist nun aber keineswegs der Fall, sondern eine gleichmäßig erhellte Fläche erscheint uns auch als solche, und wir haben nicht den Eindruck, als ob das Gesichtsfeld nach der Peripherie hin verdunkelt wäre. Eine Verschiebung des Objectes aus dem Centrum des Sehfeldes hat zwar stets eine Aenderung der Deutlichkeit des Bildes, unter Umständen auch eine Aenderung in der Qualität der Empfindung zur Folge, verursacht aber keine irgendwie merkliche Verminderung der subjectiven Helligkeit. Wir sehen die indirect gesehenen Gegenstände zwar in der Farbe modificirt und undeutlicher in ihren Umrissen und Tiefenverhältnissen, aber wir glauben sie in derselben Helligkeit wie beim directen Sehen wahrzunehmen.

Es lässt sich dies nicht wohl auf Ermüdungserscheinungen zurückführen ¹⁾, wie dies von Seiten Charpentier's u. A. geschehen ist, etwa derart, dass man behauptete, die centraleren Partien der Netzhaut seien durch den unausgesetzten Gebrauch gegenüber den weniger angestregten Regionen in einen Zustand der Ermüdung versetzt, welcher die Helligkeitsabnahme nach den Seiten hin gewissermaßen compensire. Wir wenden ja, wie oben ausgeführt wurde, die seitliche Netzhaut eben so unausgesetzt an wie die cen-

1) Charpentier, Compt. rend. XCI. p. 49.

trale; nur werden wir uns hier des Gebrauches nicht in demselben Maße bewusst. Die durch die Centralgrube vermittelten Gesichtsvorstellungen werden appercipirt, während die durch die Thätigkeit der seitlichen Retina ausgelösten Empfindungen in der Regel nur percipirt werden. An dieser Verschiedenheit aber hat die Netzhaut keinen Theil, und wenn durch die Beschränkung der Apperception auf die durch die centralen Partien vermittelten Gesichtseindrücke wirklich eine Ermüdung der Stelle des deutlichsten Sehens hervorgerufen würde, so müsste bei Versuchen, in welchen man längere Zeit die Aufmerksamkeit auf indirect gesehene Gegenstände richtet, die Ermüdung doch aufhören und der entgegengesetzte Zustand eintreten. Es ist jedoch von einer derartigen Aenderung nicht das geringste zu bemerken.

Man könnte ferner einwenden, es liege eine Art Urtheilstäuschung vor, dergestalt, dass zwar die Bilder auf der seitlichen Retina eine geringere objective und subjective Helligkeit besäßen, dass wir aber durch die Gewohnheit dahin gelangt seien, die Dinge so zu sehen, wie wir wissen dass sie sind, und somit die Tendenz besäßen, die durch die Natur unseres Auges bedingten Helligkeitsdifferenzen zwischen directem und indirectem Sehen möglichst auszugleichen. Dass dem nicht so ist, geht meines Erachtens deutlich aus Aubert's Versuchen¹⁾ zur Ermittlung der Reizschwelle hervor. Aubert beobachtete im völlig lichtlosen Raume und mit genügend adaptirtem Auge einen dünnen Platindraht, der durch den elektrischen Strom zum Erglühen gebracht werden konnte. Die geringste Helligkeit des Drahtes, welche eben noch wahrgenommen werden konnte, schätzte er auf etwa $\frac{1}{300}$ der Helligkeit des Vollmondlichtes. Hierbei beobachtete Aubert, dass der bei centralem Fixiren eben noch wahrgenommene Draht im indirecten Sehen nicht verschwand, sondern auf der ganzen Netzhaut sichtbar blieb. Es gibt hierfür nur eine Erklärung: für die seitlichen Theile, auf denen, wie oben des Näheren ausgeführt wurde, das Netzhautbildchen tatsächlich erheblich lichtschwächer ist, genügt eine geringere Stärke des Reizes, um die gleiche Intensität der Empfindung hervorzurufen. Mit andern Worten: die seitlichen Partien der Netzhaut

1) Aubert, Physiologie der Netzhaut, Cap. 2, S. 42 ff.

sind lichtempfindlicher als die centralen. Aubert zieht diese Consequenzen aus seiner Beobachtung nicht, sondern sucht die Erscheinung aus »verschiedenen Adaptationszuständen der centralen und peripherischen Netzhautregionen« zu erklären.

Haben wir im Vorstehenden gesehen, dass die durch die optische Einrichtung des Auges bedingte Abnahme der objectiven Helligkeit des Netzhautbildes auf den seitlichen Regionen durch eine erhöhte Empfindlichkeit der percipirenden Organe mehr oder minder ausgeglichen wird, so tritt uns nunmehr die Frage nach dem Grade dieser Ausgleichung entgegen.

Es ist weiter oben dargethan worden, dass man sich die objective Intensitätsabnahme des Netzhautbildchens durch eine der Cosinuslinie nahekommende Curve versinnbildlichen kann. In Fig. 3 sind auf einem rechtwinkligen Coordinatensystem die Maßzahlen der Einfallswinkel als Abscissen, die dazu gehörigen Intensitäten des Netzhautbildes als Ordinaten aufgetragen. Die Curve PQ stellt somit den Abfall der Helligkeit dar. Setzen wir nun den Fall, dass auch die Curve der wachsenden Empfindlichkeit gegeben sei, so müsste bei geeigneter Combination beider Curven die Resultante dem wirklichen Thatbestande unserer Helligkeitsempfindung im indirecten Sehen entsprechen. Da es sich aber bei der einen der Componenten um Reize, bei der andern um die Empfindung handelt, so besitzen wir kein Recht, die Combination der Curven in der Weise vorzunehmen, dass wir ihre Ordinaten einfach addiren. Aber wir können uns sehr wohl eine Curve denken, die so beschaffen wäre, dass, falls man ihre Ordinaten zu den entsprechenden der Curve PQ addirte, genau dieselbe Resultante sich ergeben würde wie bei geeigneter Combination der wirklichen Empfindlichkeitscurve mit PQ . Soll nun die Abnahme der objectiven Helligkeit durch die erhöhte Empfindlichkeit gerade aufgewogen werden, so müsste, da in diesem Falle die Resultante, den auf der ganzen Netzhaut sich gleich bleibenden Helligkeitseffect repräsentirend, durch die Gerade PS dargestellt würde, jene der eigentlichen Empfindlichkeitscurve substituirte Linie die Lage PR haben. Die Ordinaten dieser Curve verhalten sich zu den entsprechenden von PQ wie $1-y:y$. Nur in diesem einzigen Falle wird die objective Helligkeitsabnahme durch die Zunahme der Empfindlichkeit

gerade ausgeglichen. Nimmt dagegen die Curve PR einen andern Verlauf, so wird die Resultante nicht mehr eine der Abscissenaxe

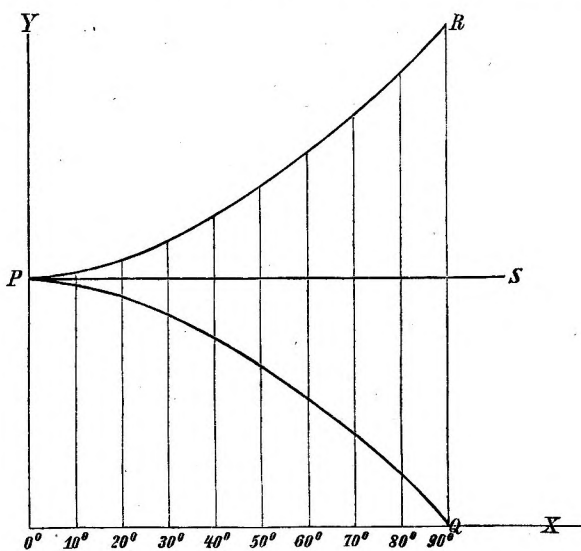


Fig. 3.

parallele Gerade sein; d. h. die Helligkeitsempfindung wird für dasselbe Object an verschiedenen Stellen der Netzhaut nicht die gleiche sein. Nun ist es aber sehr unwahrscheinlich, dass die nach der Peripherie hin sich geltend machende Erhöhung der Sensibilität genau im Sinne der Curve PR stattfindet. In jedem andern Falle weicht die Resultante mehr oder weniger von PS ab. Ist die die Empfindlichkeitszunahme versinnbildlichende Linie eine weniger gekrümmte Curve oder gar eine die Linie PR schneidende Gerade, so wird die Resultante eine gebogene Linie sein, die sich über PS erhebt. Demnach wäre es wahrscheinlich, dass die Empfindlichkeit für Intensitäten auf den seitlichen Regionen der Netzhaut noch über jene oben erwähnte Ausgleichung hinaus wachse, so dass die Gegenstände auf den die Centralgrube umgebenden Partien heller erscheinen müssten als im Centrum selbst. Dass dem aber wirklich so ist, dafür versuche ich in Nachstehendem einige Belege zu erbringen:

1) Es ist eine bekannte Thatsache, dass man sehr lichtschwache

Sterne im indirecten Sehen besser erkennt als bei Fixation. Manche Astronomen machen von dieser Eigenthümlichkeit einen praktischen Gebrauch, indem sie sehr schwach leuchtende Objecte absichtlich mittelst der seitlichen Netzhaut suchen. Wenn man in der Dämmerung das allmähliche Auftauchen der Sterne beobachtet, so findet man, dass nur selten einer im Centrum des Sehfeldes zuerst erscheint; alle treten im indirecten Sehen hervor, und es kommt nicht selten vor, dass schwach leuchtende wieder verschwinden, wenn man den Versuch macht sie zu fixiren. Diese Erscheinungen lassen sich nur durch eine größere Empfindlichkeit der seitlichen Netzhaut erklären.

2) Geringe Ungleichmäßigkeiten in der Helligkeit und Farbe auf sonst homogenen Flächen, kleine Unebenheiten auf polirten Flächen (letzteres wegen der Vertheilung von Licht und Schatten) werden im indirecten Sehen leichter als im directen erkannt. Deckt man einen Tintenfleck mit einigen Blättern schwach durchscheinenden Papiere zu, so kann man leicht eine solche Anordnung treffen, dass der Fleck für centrale Fixation gerade verschwindet, während er mit der seitlichen Netzhaut noch schwach wahrgenommen werden kann.

3) Auch bei den bekannten Versuchen mit der Masson'schen Scheibe kann man ähnliches beobachten. Eine weiße Scheibe trägt einen in radialer Richtung verlaufenden, vielfach unterbrochenen schwarzen Strich. Wird die Scheibe in Rotation versetzt, so entstehen graue Ringe, von welchen die inneren, da hier das Schwarz einen größeren Winkelwerth besitzt, dunkler sind als die äußeren, welche letztere nach dem Rande zu immer schwächer werden und zuletzt ganz aufhören sichtbar zu sein. Man benutzt diesen Apparat bekanntlich vielfach zur Feststellung der Unterschiedschwelle. Helmholtz bemerkt¹⁾, dass man bei diesen Versuchen die äußersten Ringe deutlicher sehe, wenn man sie nicht fixire, sondern den Blick in der Umgebung umherschweifen lasse. Das spricht doch deutlich für eine höhere Lichtempfindlichkeit der seitlichen Retina.

4) Die Nachbilder sind auf der seitlichen Netzhaut in der Regel intensiver als im Centrum. Um sich hiervon zu überzeugen,

1) Helmholtz, Physiolog. Optik S. 315.

verfährt man am besten in folgender Weise. Man lässt zwei gleiche, in einiger Entfernung von einander befindliche helle Objecte auf dunklem Grunde (oder umgekehrt) gleichzeitig auf das Auge wirken, und zwar so, dass man das eine fixirt, das andere aber auf die seitliche Netzhaut wirken lässt. Man wird dann finden, dass das Nachbild des indirect gesehenen Objectes lebhafter und von längerer Dauer ist.

Es sei hierbei darauf aufmerksam gemacht, dass die Nachwirkung eines Lichteindrucks noch keineswegs beendet ist, wenn bei dauernd geöffnetem oder dauernd geschlossenem Auge kein Nachbild mehr gesehen wird. Wenn bei offenem oder geschlossenem Auge auch keine Spur eines Nachbildes mehr wahrzunehmen ist, so kann man das Nachbild durch Blinzeln, d. h. durch schnell auf einander folgendes Oeffnen und Schließen des Auges wieder erzeugen, und zwar in ganz überraschender Intensität. Beim Oeffnen des Auges ist das Nachbild negativ, beim Schließen positiv, in beiden Fällen aber von sehr geringer Dauer, so dass man nur bei sehr schnellem Blinzeln ein andauerndes Nachbild zu sehen glaubt. Man kann auf diese Weise die schon erloschenen Nachbilder wieder in's Leben rufen. Zuweilen gelingt es, Nachbilder, welche schon seit mehreren Minuten erloschen sind, auf diese Weise zum Wiederscheinen zu bringen. Es scheint demnach, nach der das Auftreten des negativen Nachbildes bedingenden Ermüdung der Netzhaut, auf den von starkem Lichte getroffenen Partien der Retina noch einige Zeit, nachdem der Reiz aufgehört hat, ein eigenartiger Zustand von Erregungsträgheit zurückzubleiben, in Folge dessen die empfindenden Elemente der erregten Stellen nicht so schnell wie die umgebenden Regionen ihren Zustand der Erregung oder Nichterregung zu wechseln vermögen. Beim Schließen des Auges werden diese Elemente etwas später dunkel als die umgebenden, und man nimmt ein momentanes positives Nachbild wahr. Beim Oeffnen des Auges dagegen werden sie von den in's Auge fallenden Strahlen des Hintergrundes erst etwas später erregt als die übrigen, und so entsteht ein negatives Nachbild. Es ist nicht gerade nothwendig, dass die abwechselnde Verdunkelung und Erhellung des Gesichtsfeldes durch Oeffnen und Schließen der Augenlider bewirkt werde; die Unter-

brechung kann auch durch einen mäßig schnell gedrehten Episkotister geschehen. Da man nun deutlich bemerken kann, dass diese Nachbilder auf der seitlichen Retina leichter entstehen und von größerer Lebhaftigkeit erscheinen, so hat man allen Grund anzunehmen, dass das Maximum der Helligkeitsempfindlichkeit nicht im Centrum der Netzhaut, sondern in seitlichen Regionen liege.

5) Auch folgender Versuch beweist die höhere Empfindlichkeit der peripherischen Netzhaut. Wenn man einen hellen Gegenstand, etwa eine weiße Pappscheibe durch einen Satz grauer Gläser — oder besser farbiger, die so angeordnet sind, dass sie zusammen nur noch farbloses Licht durchlassen — betrachtet, so kann man die Zahl und Anordnung der Gläser leicht so wählen, dass das Object central fixirt eben gerade verschwindet; d. h. die geringe Lichtmenge, welche von ihm durch die Gläser noch in's Auge gelangt, liegt unter der Reizschwelle. Verlegt man nun aber den äußeren Blickpunkt nach der Seite, so erscheint im indirecten Sehen die Scheibe wieder; ein Beweis, dass die nunmehr angewandte Netzhautstelle eines geringeren Reizes bedurfte, um in den Erregungszustand versetzt zu werden.

6) Endlich sei hier noch darauf hingewiesen, dass die Veränderungen, welche die Farben im indirecten Sehen erleiden, keineswegs denjenigen entsprechen, welche bei directem Sehen durch Helligkeitsverminderung hervorgerufen werden, sondern eher eine gewisse Uebereinstimmung mit denjenigen Modificationen der Qualität des Lichtes erkennen lassen, welche im directen Sehen bei Erhöhung der Intensität beobachtet werden. So geht Roth bei Verminderung der Helligkeit (etwa in der Dämmerung) in tiefes Schwarz über, während es sich im indirecten Sehen dem Orange nähert, wobei es sich ziemlich gleich bleibt, ob es auf dunkelm oder hellem Grunde gesehen wird. Neutrales Violett verwandelt sich schon bei mäßiger Abschwächung der Helligkeit in Grau, während es indirect gesehen blau erscheint.

Die vorstehend erörterten Erscheinungen erregten in mir den Wunsch, auf dem Wege des Experimentes die Empfindlichkeitsverhältnisse für die verschiedenen Theile der Netzhaut genauer

festzustellen, um so mehr, als die Ansichten früherer Beobachter über diesen Punkt sehr getheilt sind. Während Charpentier und Aubert sowie die meisten Astronomen annahmen, dass die an allen Stellen der Netzhaut gleich große Lichtempfindlichkeit nur durch Ermüdungserscheinungen zeitweise geändert werde, behaupten andere Forscher sogar, dass das Netzhautcentrum eine höhere Empfindlichkeit aufweise¹⁾. Nur Schadow untersuchte einige Stellen des horizontalen Meridians und fand auf seitlichen Partien eine höhere Empfindlichkeit²⁾. Zu der folgenden Untersuchung bot sich mir während meiner Arbeiten im psychologischen Seminar zu Leipzig die vorzüglichste Gelegenheit, indem Herr Professor Wundt mir die zu den Versuchen erforderlichen Räume und Apparate zur Verfügung stellte und mir in dankenswerthester Weise mit seinem Rathe an die Hand ging. Es sei im Folgenden zunächst über die Anordnung der Versuche berichtet.

Es ist oben ausgeführt worden, dass durch die erhöhte Empfindlichkeit der seitlichen Retina nicht allein die erwähnte, aus physikalischen Ursachen abzuleitende Abnahme der objectiven Helligkeit der Netzhautbilder ausgeglichen, sondern sogar ein Zustand geschaffen wird, vermöge dessen die Bilder auf seitlichen Regionen auch subjectiv eine größere Intensität besitzen als im Centrum. Zur quantitativen Bestimmung dieses subjectiven Helligkeitszuwaches wurde eine Reihe von Versuchen mittelst rotirender Scheiben angesetzt. Diese Scheiben waren aus Carton gefertigt und bestanden aus beweglichen schwarzen und weißen Sektoren, durch deren Verschiebung zu einander jede beliebige Helligkeitsstufe der grauen Empfindungsreihe zwischen dem Weiß des Cartons und dem schwarzen Farbstoff (Pariser Schwarz) hergestellt werden konnte. Das Verhältniss der Helligkeit dieses letzteren Farbstoffes, der sich von allen schwarzen Pigmenten als das lichtloseste am besten zur Erzeugung grauer Töne zu eignen scheint, zu der Intensität des weißen Cartons wurde auf photometrischem Wege = 1 : 66 gefunden.

1) v. Helmholtz, *Physiol. Opt.* II. Aufl. S. 87.

2) Pflüger's *Archiv* Bd. 19. S. 439 ff. Ueber neuere Versuche von Dr. E. A. Fick vgl. den Nachtrag.

Die Beleuchtung geschah durch diffuses Tageslicht. Von der Anwendung einer künstlichen Beleuchtung wurde aus einem doppelten Grunde abgesehen: einmal um eine möglichst farblose Beleuchtung zu erzielen (da es sich bei farbigem Lichte wegen der auf der seitlichen Retina eintretenden Reduction der Farben nicht mehr um reine Messung der Helligkeitsempfindung gehandelt haben würde), dann aber auch, um die Versuche unter Bedingungen anzustellen, wie sie beim gewöhnlichen Gebrauche unseres Sehorgans die natürlichsten sind.

Die Versuche wurden in einem Zimmer mit grau gestrichenen Wänden angestellt, welches durch drei nach einem rings von ebenfalls mehr oder minder farblosen Wänden umgebenen Hofe gehende Fenster sein Licht erhielt. Die den Fenstern gegenüber liegende Wand diente als Hintergrund. Die Rouleaux der Fenster waren stets so weit herabgelassen, dass weder die beobachteten Objecte noch der Hintergrund vom blauen Himmel oder von hellen Wolken directes Licht empfangen konnten.

Auf einem Tische in einiger Entfernung von der gleichmäßig erhellten grauen Wand waren an zwei Rotationsapparaten die erwähnten Scheiben angebracht. Bei den Versuchen für den horizontalen Meridian des Auges wurden die Apparate einfach auf einer dem Hintergrunde parallelen Geraden verschoben. (Die hierbei nicht zu vermeidende Aenderung der scheinbaren Größe der Objecte ist, da die Beobachtungen sich nicht über einen Winkel von 30° hinaus erstreckten, ganz unerheblich und kann, da die Größe der Objecte hier nicht direct in Betracht kommt, keinen störenden Einfluss ausüben.) Am Fuße der Rotationsapparate, genau senkrecht unter dem Centrum der Scheiben, waren schwarze Seidenfäden befestigt, welche auf dem Tische des Beobachters an einer senkrecht stehenden scharfen Kante über dem Centrum eines Gradbogens sich kreuzten. Da das Auge des Beobachters sich in gleicher Höhe mit dem Mittelpunkte der Scheiben und senkrecht über dem Scheitel des von den beiden Fäden gebildeten Winkels befand, so konnte der Winkelabstand der Objecte im Sehfelde direct auf dem Gradbogen abgelesen werden. Bei den Versuchen für die verticalen und schiefen Meridiane war der eine der Rotationsapparate

verschiebbar an einem eisernen Stativ angebracht, und wurde der Winkelabstand der Objecte dann trigonometrisch ermittelt.

Das Verfahren bei den Versuchen war folgendes: der Beobachter schloss das eine Auge und fixirte mit dem andern die Mitte der einen der beiden Scheiben, während er seine Aufmerksamkeit zum Zwecke eines Vergleichs der Helligkeiten auch auf die indirect gesehene Scheibe lenkte. Waren beide Scheiben objectiv gleich, so erschien die indirect gesehene heller; es wurde dieser letzteren nun so lange Schwarz zugesetzt, bis subjective Gleichheit erzielt war. Da ich die Versuche an meinem eigenen Auge machte, so ging ich in der Regel nicht von dem Punkte objectiver Gleichheit aus, sondern von einer zu großen oder zu geringen Intensität, und änderte nun, ohne jedesmal die Größe der Aenderung in Graden festzustellen (die Gradeintheilung war auf der Rückseite der Scheiben angebracht) so lange, bis ich subjective Gleichheit erreicht hatte. Hierbei wurde natürlich der Punkt des ebenmerklichen Unterschiedes nach beiden Richtungen hin ermittelt und aus den gefundenen Werthen die arithmetische Mitte gezogen.

Vor und nach jedem Versuche (d. h. bei jeder Aenderung in der Stellung der Apparate) wurde zur Controlle der Beleuchtung eine Prüfung der Scheiben auf ihre subjective Gleichheit bei gleicher Einstellung der Sectoren vorgenommen. Wurde bei gleichzeitigem Gebrauche beider Augen ein genau in der Mitte zwischen beiden Objecten gelegener Punkt fixirt, so mussten, falls die Beleuchtung eine gleichmäßige war, beide Scheiben bei gleicher objectiver Einstellung auch subjectiv gleich hell erscheinen.

Die Entfernung des Beobachters von der fixirten Scheibe betrug 1,5 m. Die Entfernung der Scheiben vom Hintergrunde konnte, da gerade durch sie die relative Helligkeit des Hintergrundes regulirt wurde, nicht ganz constant erhalten werden. Die Aufstellung der Scheiben geschah nämlich stets so, dass die Helligkeit des Hintergrundes einem Grau der Scheiben entsprach, welches aus 90° Weiß und 270° Schwarz zusammengesetzt war. Während es, um schädliche Contrasteeinflüsse zu vermeiden, von größter Wichtigkeit sein musste, die relative Helligkeit des Hintergrundes möglichst constant zu erhalten, konnten die durch dieses Verfahren bedingten, sehr unbedeutenden Aenderungen hinsichtlich des

Abstandes zwischen Wand und Scheiben keinen nennenswerthen Einfluss auf die Schätzung haben.

Um die Möglichkeit einer Ermüdung des Auges auszuschließen, wurde die Zahl der auf einmal hinter einander angestellten Versuche innerhalb beschränkter Grenzen gehalten. Zwischen den einzelnen Beobachtungen blickte das Auge zwanglos umher. Da der Beobachter den Fenstern den Rücken kehrte, so war die Möglichkeit des Auftretens störender Nachbilder, verursacht durch auffallend helle oder dunkle Gegenstände im Zimmer, sowie auch nachtheiligen Contrasteeinflusses secundärer Art vollständig ausgeschlossen. Vor jeder Beobachtung wurde sorgfältig darauf geachtet, dass von dem vorhergehenden Versuche nicht etwa noch Nachbilder der Scheibe zurückgeblieben waren, deren Vorhandensein beim Umherblicken auf dem grauen Hintergrund ja leicht zu constatiren war.

In den beigegeführten Tabellen findet man in der ersten Spalte den jeweiligen Winkelabstand der Objecte im Sehfelde. In der zweiten mit J überschriebenen Rubrik ist das Sectorenverhältniss verzeichnet. Der Einfachheit halber ist nur die Größe des weißen Sectors angegeben, wonach man sich den Winkelwerth des schwarzen Sectors ($= 360^\circ - J$) leicht ergänzen kann. Mit C ist die constant erhaltene fixirte Scheibe bezeichnet, mit J die indirect gesehene, deren Helligkeit bis zum Eintritt der subjectiven Gleichheit geändert wurde. Der in der letzten Rubrik aufgeführte Bruch $\frac{C}{J}$ kann als directes Maß der Empfindlichkeit der betreffenden Netzhautstelle gelten. Uebersichtlicher dagegen ist der in der dritten Spalte verzeichnete Quotient $\frac{C-J}{C}$, welcher angibt, ein wie großer Bruchtheil von der Helligkeit der fixirten Scheibe bei der indirect gesehenen fehlen darf, wenn die letztere noch eben so hell erscheinen soll wie die direct gesehene.

Bei den in den Tabellen I und II aufgeführten Versuchen bediente ich mich zweier Scheiben von 20 cm Durchmesser, zu den späteren Versuchen wurden kleinere Scheiben von etwa 13 cm Durchmesser verwandt. In den Versuchsreihen I bis III wurde nicht über einen Winkelabstand von 25° hinausgegangen. Zwar wurden noch weitere Beobachtungen gemacht; indessen schienen mir dieselben zur Verwerthung in den Tabellen zu unsicher. Im

Tab. I.

H (= Hintergrund) = $270 s + 90 w$; $C = 180 w + 180 s$.
 Durchmesser der Scheiben 20 cm. Entfernung vom Auge 1,50 m.

Rechtes Auge.

Winkel- abstand	nach außen			nach innen		
	J	$\frac{C-J}{C}$	$\frac{C}{J}$	J	$\frac{C-J}{C}$	$\frac{C}{J}$
5°	172	$\frac{1}{23,2}$	1,045	172	$\frac{1}{23,2}$	1,045
7½	168	$\frac{1}{15,5}$	1,071	168	$\frac{1}{15,5}$	1,078
10	165	$\frac{1}{12,3}$	1,088	165	$\frac{1}{12,3}$	1,088
15	157	$\frac{1}{8}$	1,141	159	$\frac{1}{8,8}$	1,127
20	153	$\frac{1}{7}$	1,170	156	$\frac{1}{7,7}$	1,149

Linkes Auge.

Winkel	nach außen			nach innen		
	J	$\frac{C-J}{J}$	$\frac{C}{J}$	J	$\frac{C-J}{C}$	$\frac{C}{J}$
5°	173	$\frac{1}{26,5}$	1,039	174	$\frac{1}{31}$	1,033
7½	168	$\frac{1}{15,5}$	1,078	170	$\frac{1}{18,5}$	1,057
10	162	$\frac{1}{10,3}$	1,107	165	$\frac{1}{12,3}$	1,088
15	158	$\frac{1}{8,5}$	1,134	161	$\frac{1}{9,8}$	1,114
20	152	$\frac{1}{6,6}$	1,178	157	$\frac{1}{8}$	1,141

Tab. II.

$$H = 270 s + 90 w. \quad C = 150 w + 210 s.$$

Rechtes Auge.

Winkel	nach außen			nach innen		
	J	$\frac{C-J}{C}$	$\frac{C}{J}$	J	$\frac{C-J}{C}$	$\frac{C}{J}$
$6\frac{1}{2}^\circ$	144 w	$\frac{1}{26}$	1,040	144	$\frac{1}{26}$	1,040
10	139	$\frac{1}{14}$	1,077	137	$\frac{1}{12}$	1,091
$12\frac{1}{2}$	133	$\frac{1}{9}$	1,120	135	$\frac{1}{10,4}$	1,107
15	125	$\frac{1}{6,2}$	1,190	132	$\frac{1}{8,6}$	1,131
20	118	$\frac{1}{5}$	1,259	128	$\frac{1}{7}$	1,164
25				125	$\frac{1}{6,2}$	1,191

Linkes Auge.

Winkel	nach außen			nach innen		
	J	$\frac{C-J}{C}$	$\frac{C}{J}$	J	$\frac{C-J}{C}$	$\frac{C}{J}$
$6\frac{1}{2}^\circ$	144	$\frac{1}{26}$	1,040	145	$\frac{1}{38}$	1,033
10	140	$\frac{1}{18,6}$	1,069	138	$\frac{1}{14}$	1,084
$12\frac{1}{2}$	135	$\frac{1}{10,4}$	1,107	136	$\frac{1}{11,1}$	1,099
15	126	$\frac{1}{6,5}$	1,182	131	$\frac{1}{8}$	1,139
20	119	$\frac{1}{5}$	1,259	129	$\frac{1}{7,5}$	1,156
25				127	$\frac{1}{6,8}$	1,173

Tab. III.

$$H = 90 w + 270 s. \quad C = 120 w + 240 s.$$

Rechtes Auge.

Winkel	nach außen			nach innen		
	J	$\frac{C-J}{C}$	$\frac{C}{J}$	J	$\frac{C-J}{C}$	$\frac{C}{J}$
7°	112	$\frac{1}{15,7}$	1,068	112	$\frac{1}{15,7}$	1,068
10	105	$\frac{1}{8,9}$	1,136	108	$\frac{1}{10,5}$	1,106
12½	100	$\frac{1}{6,3}$	1,189	105	$\frac{1}{8,9}$	1,136
15	96	$\frac{1}{5,23}$	1,236	102	$\frac{1}{7}$	1,168
17½	—	—	1,000	100	$\frac{1}{6,3}$	1,189
20	93	$\frac{1}{4,6}$	1,274	98	$\frac{1}{5,3}$	1,212
22½	94	$\frac{1}{4,8}$	1,260	98	$\frac{1}{5,3}$	1,212
25	96	$\frac{1}{5,23}$	1,236	101	$\frac{1}{6,6}$	1,178

Linkes Auge.

Winkel	nach außen			nach innen		
	J	$\frac{C-J}{C}$	$\frac{C}{J}$	J	$\frac{C-J}{C}$	$\frac{C}{J}$
7°	113	$\frac{1}{18}$	1,059	113	$\frac{1}{18}$	1,059
10	107	$\frac{1}{9,66}$	1,116	108	$\frac{1}{10,5}$	1,106
12½	102	$\frac{1}{7}$	1,168	106	$\frac{1}{9}$	1,126
15	97	$\frac{1}{5,46}$	1,224	103	$\frac{1}{7,4}$	1,157
17½	95	$\frac{1}{5}$	1,249	101	$\frac{1}{6,6}$	1,178
20	92	$\frac{1}{4,5}$	1,287	100	$\frac{1}{6,3}$	1,189
22½	95	$\frac{1}{5}$	1,249	100	$\frac{1}{6,3}$	1,189
25	97	$\frac{1}{5,5}$	1,224	101	$\frac{1}{6,6}$	1,178

$$H = 270 s + 90 w. \quad C = 180 w + 180 s. \quad \text{Ent-}$$

Linkes Auge.

außen				innen			
Winkel	J	$\frac{C-J}{C}$	$\frac{C}{J}$	Winkel	J	$\frac{C-J}{C}$	$\frac{C}{J}$
5°	176	$\frac{1}{46,4}$	1,022	5°	175	$\frac{1}{37,1}$	1,028
7½	172	$\frac{1}{23,2}$	1,045	7½	172	$\frac{1}{23,2}$	1,045
10	168	$\frac{1}{15,5}$	1,078	10	169	$\frac{1}{16,8}$	1,063
12½	165	$\frac{1}{12,3}$	1,088	12½	167	$\frac{1}{14,3}$	1,075
15	162	$\frac{1}{10,3}$	1,107	15			
17½	159	$\frac{1}{8,8}$	1,127	17½	166	$\frac{1}{13,2}$	1,082
20	156	$\frac{1}{7,7}$	1,149	20	164	$\frac{1}{11,6}$	1,094
22½	155	$\frac{1}{7,1}$	1,156	22½	162	$\frac{1}{10,3}$	1,107
25	156	$\frac{1}{7,7}$	1,149	25	160	$\frac{1}{9,3}$	1,121
30	160	$\frac{1}{9,3}$	1,121	30	164	$\frac{1}{11,6}$	1,094

oben				unten			
Winkel	J	$\frac{C-J}{C}$	$\frac{C}{J}$	Winkel	J	$\frac{C-J}{C}$	$\frac{C}{J}$
5° 4'	177	$\frac{1}{61,8}$	1,016	5° 4'	176	$\frac{1}{46,4}$	1,022
6 24	176	$\frac{1}{46,4}$	1,022	6 6	175	$\frac{1}{37,1}$	1,028
7 47	176	$\frac{1}{46,4}$	1,022	7 36	173	$\frac{1}{26,6}$	1,039
9 1	174	$\frac{1}{31}$	1,033	9 17	172	$\frac{1}{23,2}$	1,045
10 45	172	$\frac{1}{23,2}$	1,045	11 18	171	$\frac{1}{20,7}$	1,051
12 35	173	$\frac{1}{26,6}$	1,039	13 8	170	$\frac{1}{18,5}$	1,037
14 35	174	$\frac{1}{31}$	1,053	15 13	172	$\frac{1}{23,2}$	1,045

IV.

fernung 1,50 m; Durchmesser der Scheiben 13 cm.

Rechtes Auge.

außen				innen			
Winkel	J	$\frac{C-J}{C}$	$\frac{C}{J}$	Winkel	J	$\frac{C-J}{C}$	$\frac{C}{J}$
5°	175	$\frac{1}{37,1}$	1,028	5°	174	$\frac{1}{31}$	1,033
7 $\frac{1}{2}$	172	$\frac{1}{23,2}$	1,045	7 $\frac{1}{2}$	170	$\frac{1}{18,5}$	1,037
10	167	$\frac{1}{14,3}$	1,075	10	166	$\frac{1}{13,2}$	1,082
12 $\frac{1}{2}$	164	$\frac{1}{11,6}$	1,094	12 $\frac{1}{2}$			
15	160	$\frac{1}{9,3}$	1,121	15			
17 $\frac{1}{2}$	158	$\frac{1}{8,5}$	1,134	17 $\frac{1}{2}$	164	$\frac{1}{11,6}$	1,094
20	156	$\frac{1}{7,7}$	1,149	20	162	$\frac{1}{10,3}$	1,107
22 $\frac{1}{2}$	156	$\frac{1}{7,7}$	1,149	22 $\frac{1}{2}$	160	$\frac{1}{9,3}$	1,121
25	158	$\frac{1}{8,5}$	1,134	25	158	$\frac{1}{8,5}$	1,134
30	160	$\frac{1}{9,3}$	1,121	30	162	$\frac{1}{10,3}$	1,107

oben				unten			
Winkel	J	$\frac{C-J}{C}$	$\frac{C}{J}$	Winkel	J	$\frac{C-J}{C}$	$\frac{C}{J}$
5° 4'	177	$\frac{1}{61,8}$	1,016	5° 4'	177	$\frac{1}{61,8}$	1,016
6 24	176	$\frac{1}{46,4}$	1,022	6 6	176	$\frac{1}{46,4}$	1,022
7 47	176	$\frac{1}{46,4}$	1,022	7 36	174	$\frac{1}{31}$	1,033
9 1	175	$\frac{1}{37,1}$	1,028	9 17	173	$\frac{1}{26,6}$	1,039
10 45	173	$\frac{1}{26,6}$	1,039	11 18	172	$\frac{1}{23,2}$	1,045
12 35	174	$\frac{1}{31}$	1,033	13 18	171	$\frac{1}{20,7}$	1,051
14 35	175	$\frac{1}{37,1}$	1,028	15 13	173	$\frac{1}{26,6}$	1,039

Tab.
Linkes

$$H = 90 w + 270 s; \quad C = 270 w + 90 s; \quad \text{Ent-}$$

außen				innen			
Winkel	J	$\frac{C-J}{C}$	$\frac{C}{J}$	Winkel	J	$\frac{C-J}{C}$	$\frac{C}{J}$
5°	266	$\frac{1}{68,8}$	1,105	5°	265	$\frac{1}{56,7}$	1,018
6	265	$\frac{1}{56,7}$	1,018	6	263	$\frac{1}{39,4}$	1,026
7½	262	$\frac{1}{34,4}$	1,03	7½	260	$\frac{1}{27,6}$	1,038
10	258	$\frac{1}{23}$	1,046	10	257	$\frac{1}{21}$	1,05
12½	255	$\frac{1}{18,5}$	1,058	12½	252	$\frac{1}{15,3}$	1,07
15	252	$\frac{1}{15,3}$	1,07	15			
17½	249	$\frac{1}{13,1}$	1,083	17½	250	$\frac{1}{13,8}$	1,078
20	246	$\frac{1}{11,5}$	1,095	20	248	$\frac{1}{12,6}$	1,087
22½	248	$\frac{1}{12,6}$	1,087	22½	246	$\frac{1}{11,5}$	1,095
25	250	$\frac{1}{13,8}$	1,078	25	246	$\frac{1}{11,5}$	1,095
30	252	$\frac{1}{15,3}$	1,07	30	248	$\frac{1}{12,6}$	1,087

oben				unten			
Winkel	J	$\frac{C-J}{C}$	$\frac{C}{J}$	Winkel	J	$\frac{C-J}{C}$	$\frac{C}{J}$
5° 8'	264	$\frac{1}{46}$	1,022	5° 8'	266	$\frac{1}{68,8}$	1,015
6 24	262	$\frac{1}{34,4}$	1,03	6 24	265	$\frac{1}{56,7}$	1,018
7 58	260	$\frac{1}{27,6}$	1,038	8 10	263	$\frac{1}{39,4}$	1,026
9 17	258	$\frac{1}{23}$	1,046	9 57	260	$\frac{1}{27,5}$	1,038
10 55	260	$\frac{1}{27,6}$	1,038	11 41	260	$\frac{1}{27,5}$	1,038
12 57	255	$\frac{1}{18,5}$	1,058	13 30	258	$\frac{1}{23}$	1,046
15 13	257	$\frac{1}{21}$	1,05	15 30			

V, A.

Auge.

fernung 1,50 m. Durchmesser der Scheiben 13 cm.

oben — außen				unten — innen			
Winkel	J	$\frac{C-J}{C}$	$\frac{C}{J}$	Winkel	J	$\frac{C-J}{C}$	$\frac{C}{J}$
5° 4'	265	$\frac{1}{56,7}$	1,018	5° 4'	267	$\frac{1}{91,8}$	1,011
6 28	263	$\frac{1}{39,4}$	1,026	6 28	265	$\frac{1}{56,7}$	1,018
8 10	361	$\frac{1}{29,5}$	1,034	8 10	261	$\frac{1}{29,5}$	1,034
9 39	256	$\frac{1}{19,7}$	1,054	9 39	258	$\frac{1}{23}$	1,046
11 41	249	$\frac{1}{13,1}$	1,083	11 41	256	$\frac{1}{19,7}$	1,054
13 45	248	$\frac{1}{12,6}$	1,087	13 45	258	$\frac{1}{23}$	1,046
15	246	$\frac{1}{11,5}$	1,095	15	255	$\frac{1}{18,5}$	1,058

unten — außen				oben — innen			
Winkel	J	$\frac{C-J}{C}$	$\frac{C}{J}$	Winkel	J	$\frac{C-J}{C}$	$\frac{C}{J}$
5° 4'	266	$\frac{1}{68,8}$	1,015	5° 4'	264	$\frac{1}{46}$	1,022
6 28	264	$\frac{1}{46}$	1,022	6 28	262	$\frac{1}{34}$	1,03
8 10	260	$\frac{1}{27,6}$	1,038	8 10	260	$\frac{1}{27,6}$	1,038
9 39	262	$\frac{1}{34}$	1,03	9 39	257	$\frac{1}{21}$	1,05
11 41	257	$\frac{1}{21}$	1,05	11 41	252	$\frac{1}{15,3}$	1,07
13 45	255	$\frac{1}{18,5}$	1,058	13 45	253	$\frac{1}{16,2}$	1,066
15	252	$\frac{1}{15,3}$	1,07	15	251	$\frac{1}{14,5}$	1,074

Tab.
Rechtes

$$H = 90 w + 270 s; C = 270 w + 90 s. \text{ Ent-}$$

außen				innen			
Winkel	J	$\frac{C-J}{C}$	$\frac{C}{J}$	Winkel	J	$\frac{C-J}{C}$	$\frac{C}{J}$
5°	266	$\frac{1}{68,8}$	1,015	5°	265	$\frac{1}{56,7}$	1,018
6	265	$\frac{1}{56,7}$	1,018	6	263	$\frac{1}{39,4}$	1,026
7 $\frac{1}{2}$	262	$\frac{1}{34,4}$	1,03	7 $\frac{1}{2}$	260	$\frac{1}{27,6}$	1,038
10	257	$\frac{1}{21}$	1,05	10	256	$\frac{1}{19,7}$	1,054
12 $\frac{1}{2}$	254	$\frac{1}{17,2}$	1,062	12 $\frac{1}{2}$	253	$\frac{1}{16,2}$	1,066
15	250	$\frac{1}{13,8}$	1,078	15			
17 $\frac{1}{2}$	248	$\frac{1}{12,6}$	1,087	17 $\frac{1}{2}$	253	$\frac{1}{16,2}$	1,066
20	245	$\frac{1}{11}$	1,1	20	248	$\frac{1}{12,6}$	1,087
22 $\frac{1}{2}$	248	$\frac{1}{12,6}$	1,087	22 $\frac{1}{2}$	245	$\frac{1}{11}$	1,1
25	250	$\frac{1}{13,8}$	1,078	25	244	$\frac{1}{10,6}$	1,104
30	250	$\frac{1}{13,8}$	1,078	30	246	$\frac{1}{11,5}$	1,095

oben				unten			
Winkel	J	$\frac{C-J}{C}$	$\frac{C}{J}$	Winkel	J	$\frac{C-J}{C}$	$\frac{C}{J}$
5° 8'	266	$\frac{1}{68,8}$	1,015	5° 8'	267	$\frac{1}{91,8}$	1,011
6 24	264	$\frac{1}{46}$	1,022	6 24	266	$\frac{1}{68,8}$	1,015
7 58	261	$\frac{1}{29,5}$	1,034	8 10	265	$\frac{1}{56,7}$	1,018
9 17	258	$\frac{1}{23}$	1,046	9 57	264	$\frac{1}{46}$	1,022
10 55	256	$\frac{1}{19,7}$	1,054	11 41	262	$\frac{1}{34,4}$	1,03
12 57	253	$\frac{1}{16,2}$	1,066	13 30	262	$\frac{1}{34,4}$	1,03
15 13				15 30	260	$\frac{1}{27,6}$	1,038

V, B.

Auge.

fernung 1,50 m. Durchmesser der Scheiben 13 cm.

oben — außen				unten — innen			
Winkel	J	$\frac{C-J}{C}$	$\frac{C}{J}$	Winkel	J	$\frac{C-J}{C}$	$\frac{C}{J}$
5° 4'	266	$\frac{1}{68,8}$	1,015	5° 4'	267	$\frac{1}{91,8}$	1,011
6 28	264	$\frac{1}{46}$	1,022	6 28	263	$\frac{1}{39,4}$	1,026
8 10	259	$\frac{1}{25}$	1,042	8 10	259	$\frac{1}{25}$	1,042
9 39	252	$\frac{1}{15,3}$	1,07	9 39	256	$\frac{1}{19,7}$	1,054
11 41	254	$\frac{1}{17,2}$	1,062	11 41	250	$\frac{1}{13,8}$	1,078
13 45	254	$\frac{1}{17,2}$	1,062	13 45	247	$\frac{1}{12}$	1,091
15	250	$\frac{1}{13,8}$	1,078	15	250	$\frac{1}{13,8}$	1,078

unten — außen				oben — innen			
Winkel	J	$\frac{C-J}{C}$	$\frac{C}{J}$	Winkel	J	$\frac{C-J}{C}$	$\frac{C}{J}$
5° 4'	266	$\frac{1}{68,8}$	1,015	5° 4'	265	$\frac{1}{56,7}$	1,018
6 28	266	$\frac{1}{68,8}$	1,015	6 28	263	$\frac{1}{39,4}$	1,026
8 10	263	$\frac{1}{39,4}$	1,026	8 10	258	$\frac{1}{23}$	1,046
9 39	260	$\frac{1}{27,6}$	1,038	9 39	253	$\frac{1}{16,2}$	1,066
11 41	258	$\frac{1}{23}$	1,046	11 41	250	$\frac{1}{12,8}$	1,078
13 45	259	$\frac{1}{25}$	1,042	13 45	247	$\frac{1}{12}$	1,091
15	259	$\frac{1}{25}$	1,042	15	249	$\frac{1}{13,2}$	1,083

$$H = 270 s + 90 w. \quad C = 330 w + 30 s.$$

Linkes Auge.

außen				innen			
Winkel	J	$\frac{C-J}{C}$	$\frac{C}{J}$	Winkel	J	$\frac{C-J}{C}$	$\frac{C}{J}$
5°	326	$\frac{1}{84}$	1,012	5°	326	$\frac{1}{84}$	1,012
6	324	$\frac{1}{56}$	1,018	6	322	$\frac{1}{42}$	1,025
7 $\frac{1}{2}$	322	$\frac{1}{42}$	1,025	7 $\frac{1}{2}$	320	$\frac{1}{33,5}$	1,031
10	320	$\frac{1}{33,5}$	1,031	10	316	$\frac{1}{24}$	1,044
12 $\frac{1}{2}$	317	$\frac{1}{25,8}$	1,043	12 $\frac{1}{2}$	314	$\frac{1}{21}$	1,05
15	316	$\frac{1}{24}$	1,044	15			
17 $\frac{1}{2}$	314	$\frac{1}{21}$	1,05	17 $\frac{1}{2}$	311	$\frac{1}{17,7}$	1,06
20	311	$\frac{1}{17,7}$	1,06	20	308	$\frac{1}{15,3}$	1,07
22 $\frac{1}{2}$	308	$\frac{1}{15,3}$	1,07	22 $\frac{1}{2}$	306	$\frac{1}{14}$	1,077
25	311	$\frac{1}{17,7}$	1,06	25	302	$\frac{1}{11,9}$	1,091
30	312	$\frac{1}{18,6}$	1,057	30	304	$\frac{1}{12,9}$	1,084

oben				unten			
Winkel	J	$\frac{C-J}{C}$	$\frac{C}{J}$	Winkel	J	$\frac{C-J}{C}$	$\frac{C}{J}$
5°	326	$\frac{1}{84}$	1,012	5°	327	$\frac{1}{112}$	1,009
6 $\frac{1}{2}$	322	$\frac{1}{42}$	1,025	6 $\frac{1}{2}$	323	$\frac{1}{48}$	1,021
8 $\frac{1}{2}$	318	$\frac{1}{28}$	1,037	8 $\frac{1}{2}$	322	$\frac{1}{42}$	1,025
9 $\frac{1}{2}$	313	$\frac{1}{19,7}$	1,053	9 $\frac{1}{2}$	320	$\frac{1}{33,5}$	1,031
12	313	$\frac{1}{19,7}$	1,053	12	320	$\frac{1}{33,5}$	1,031
14 $\frac{1}{4}$	314	$\frac{1}{21}$	1,05	14 $\frac{1}{4}$			

VI.

Entfernung 1,50 m.

Rechtes Auge.

außen				innen			
Winkel	J	$\frac{C-J}{C}$	$\frac{C}{J}$	Winkel	J	$\frac{C-J}{C}$	$\frac{C}{J}$
5°	326	$\frac{1}{84}$	1,012	5°	325	$\frac{1}{67,1}$	1,015
6	322	$\frac{1}{42}$	1,025	6	323	$\frac{1}{48}$	1,021
7 $\frac{1}{2}$	319	$\frac{1}{30,5}$	1,034	7 $\frac{1}{2}$	320	$\frac{1}{33,5}$	1,031
10	316	$\frac{1}{24}$	1,044	10	318	$\frac{1}{28}$	1,037
12 $\frac{1}{2}$	314	$\frac{1}{21}$	1,05	12 $\frac{1}{2}$	315	$\frac{1}{22,4}$	1,047
15	311	$\frac{1}{17,7}$	1,06	15			
17 $\frac{1}{2}$	309	$\frac{1}{16}$	1,067	17 $\frac{1}{2}$	308	$\frac{1}{15,3}$	1,07
20	306	$\frac{1}{14}$	1,077	20	305	$\frac{1}{13,4}$	1,081
22 $\frac{1}{2}$	304	$\frac{1}{12,9}$	1,084	22 $\frac{1}{2}$	303	$\frac{1}{12,4}$	1,088
25	306	$\frac{1}{14}$	1,077	25	303	$\frac{1}{12,4}$	1,088
30	306	$\frac{1}{14}$	1,077	30	305	$\frac{1}{13,4}$	1,081

oben				unten			
Winkel	J	$\frac{C-J}{C}$	$\frac{C}{J}$	Winkel	J	$\frac{C-J}{C}$	$\frac{C}{J}$
5°	326	$\frac{1}{84}$	1,012	5°	327	$\frac{1}{112}$	1,009
6 $\frac{1}{2}$	323	$\frac{1}{48}$	1,021	6 $\frac{1}{2}$	324	$\frac{1}{56}$	1,018
8 $\frac{1}{2}$	319	$\frac{1}{30,5}$	1,034	8 $\frac{1}{2}$	323	$\frac{1}{48}$	1,021
9 $\frac{1}{2}$	316	$\frac{1}{24}$	1,044	9 $\frac{1}{2}$	321	$\frac{1}{37,3}$	1,028
12	314	$\frac{1}{21}$	1,05	12			
14 $\frac{1}{4}$	318	$\frac{1}{28}$	1,037	14 $\frac{1}{4}$			

allgemeinen hatte es den Anschein, als ob die Helligkeitsempfindlichkeit über 25° hinaus wieder abnähme, so dass, wie auch durch die weiteren Versuche (Tabelle IV, V und VI) bestätigt wird, auf dem horizontalen Meridian das Maximum der Helligkeitsempfindlichkeit in einer Entfernung von 22° — 25° vom Centrum sich zu befinden scheint.

Nachdem in den Versuchsreihen I bis III festgestellt war, dass die Empfindlichkeit für farbloses Licht nach der Peripherie hin tatsächlich zunimmt, ergab sich die Nothwendigkeit einer Untersuchung dieser Veränderung auch in der Richtung des verticalen Meridians. In Tabelle IV findet man daher auch die Resultate der Beobachtungen für die verticale Richtung. Die Bezeichnungen »außen«, »innen«, »oben«, »unten« beziehen sich hier, wie auch in den späteren Reihen, nicht auf das Sehfeld, sondern auf die Netzhaut selbst. Dass für den verticalen Meridian die Winkelabstände in Graden und Minuten angegeben sind, rührt daher, dass hier die Messung nicht mehr direct mittelst des Fadenwinkels, sondern trigonometrisch geschah. Bei diesen Versuchen ergab sich das überraschende Resultat, dass die Empfindlichkeitszunahme in der Richtung nach unten und oben weit hinter derjenigen in der Richtung des horizontalen Meridians zurückbleibt. Ueber einen Winkelabstand von 15° nach oben und unten hinaus konnten die Versuche nicht ausgedehnt werden, da es bei größerem Abstände nicht mehr möglich war, ein sicheres Urtheil zu fällen; indessen wuchs die Empfindlichkeit nicht weiter, es schien eher wieder eine geringe Abnahme stattzufinden, so dass hier das Maximum der Empfindlichkeit etwa bei 12 — 15° anzunehmen ist.

In Tabelle V treten zu den Untersuchungen des horizontalen und verticalen Meridians noch die der unter 45° geneigten Meridiane. Um bei der Ausführung dieser Versuche möglichst genau zu verfahren, wurde an der den Hintergrund bildenden Wand in den angegebenen Meridianrichtungen entsprechendes Fadenkreuz angebracht; die Verschiebung der Apparate geschah dann so, dass die Centren der Scheiben, vom Orte des beobachtenden Auges gesehen, sich stets mit dem Fadenkreuze deckten. Auch bei diesen Versuchen musste, da nur die lineare Entfernung direct gemessen

werden konnte, der Winkelabstand auf dem Wege der Rechnung ermittelt werden.

In der der Tabelle V beigegebenen Fig. 4 habe ich versucht die Verhältnisse zu veranschaulichen. Die Figur stellt eine Centralprojection des Sehfeldes beider Augen auf die Ebene dar. Die obere Hälfte der Kreise entspricht der unteren Hälfte der Netzhaut, die äußere Hälfte der Projection aber der nasalen Seite des Auges u. s. w., wie dies auch durch die beigegebenen Buchstaben (a = außen, i = innen, v = oben, u = unten) angedeutet ist. Die Stellen gleicher Empfindlichkeit auf den vier untersuchten Meridianen sind durch Linien verbunden. Es geschah diese Verbindung durch Curven und nicht durch gerade Linien, weil bei Anwendung der letz-

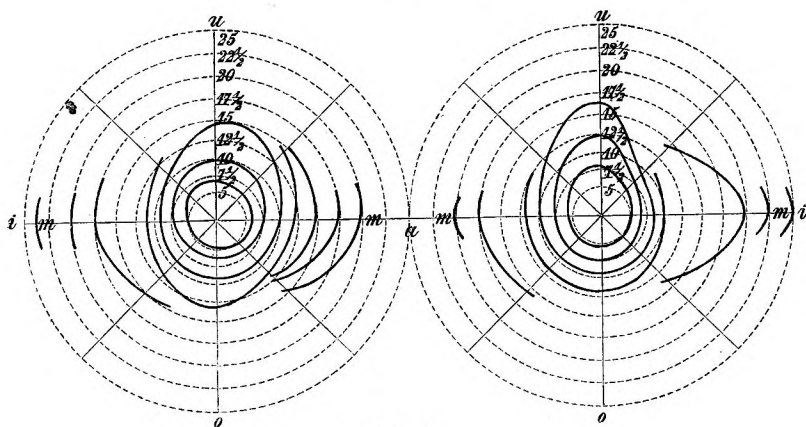


Fig. 4.

teren wegen der geringen Zahl der untersuchten Meridiane sehr verzerrte Figuren zu Stande gekommen wären, welche die Uebersichtlichkeit wesentlich gestört haben würden, ohne jedoch der Wahrheit näher zu kommen als die angewandte Ausfüllung durch Bogen.

Der innere Kreis bezeichnet diejenigen Stellen der Netzhaut, deren Empfindlichkeit nach der Tabelle $\left(\frac{C}{J}\right)$ gleich 1,018 ist; die zweite geschlossene Curve entspricht einer Empfindlichkeit von 1,03; die dritte derjenigen von 1,046. Die vierte Curve ist nicht mehr geschlossen, da sich auf den unteren Partien der Netzhaut keine

Stelle von gleicher Empfindlichkeit mehr findet. Für die dann folgenden Curven fehlen sowohl unten wie oben die entsprechenden Aequivalente, so dass die Curve in zwei getrennte Theile zerfällt. Eigenthümlich ist die Richtung dieser Theile, deren Verlängerungen offenbar diejenigen Stellen des senkrechten Meridians treffen würden, welche die jenen seitlichen Curven keineswegs gleichwerthigen Empfindlichkeitsmaxima darstellen. Verbindet man die unter sich durchaus nicht gleichwerthigen Maxima aller Meridiane, so erhält man eine (in der Figur nicht gezeichnete) mehr oder minder elliptische Curve.

Aus der Projection ersieht man, dass der Empfindlichkeitszuwachs in der Richtung des horizontalen Meridians ein weit bedeutenderer ist als in verticaler Richtung, und dass hinsichtlich der letzteren wieder die obere Hälfte der Netzhaut gegenüber der unteren im Vortheil ist. Diese Verhältnisse entsprechen ganz den tatsächlichen Bedürfnissen unseres Sehorganes, so dass sich diese Einrichtung als eine durchaus zweckmäßige, wahrscheinlich durch Selbstregulirung der Sehprocesse erworbene, auffassen lässt.

Die Lage der Objecte im Raume, mit denen wir uns beschäftigen und auf die wir unsere Aufmerksamkeit zu richten genöthigt sind, bedingt es, dass die durch die seitlichen Netzhautpartien vermittelten indirecten Gesichtswahrnehmungen eine größere Bedeutung für uns besitzen als das indirecte Sehen mit den oberen und unteren Regionen. Und was die verschiedenen Theile des verticalen Meridians anbelangt, so ist leicht einzusehen, dass hier die Bedeutung der unteren Hälfte gegenüber der oberen wieder zurücktreten muss. Wenn wir bei der Arbeit oder bei unseren Bewegungen geradeaus sehen, so haben wir unterhalb des Horizontes eine Menge von Gegenständen, auf welche wir, wenn wir sie auch nicht fixiren, wohl achten müssen; über dem Horizonte dagegen befinden sich in der Regel nur entferntere Gegenstände, ausge dehnte helle Flächen wie der Himmel oder die helle Decke des Zimmers. Es könnte daher nur störend für die Functionen des Gesichtssinnes sein, wenn jene Partien der Retina, welche dem erwähnten meist sehr erhellten Theile des Sehfeldes entsprechen, mit einer ähnlichen hohen Empfindlichkeit ausgerüstet wären, wie

Tab. VII.

Zusammenstellung der Helligkeitsmaxima aus den Reihen II bis VI.

Linkes Auge.

Sectorenverhältniss von C	Helligkeit von $C^1)$	außen			innen		
		Winkel	$\frac{C-J}{C}$	$\frac{C}{J}$	Winkel	$\frac{C-J}{C}$	$\frac{C}{J}$
120 $w + 240 s$	$22\frac{2}{3}$	20°	$\frac{1}{4,5}$	1,287	$20-22\frac{1}{2}^\circ$	$\frac{1}{6,3}$	1,189
150 $w + 210 s$	$28\frac{1}{3}$	20	$\frac{1}{5}$	1,259	25	$\frac{1}{6,8}$	1,173
180 $w + 180 s$	$33\frac{1}{2}$	$22\frac{1}{2}$	$\frac{1}{7,1}$	1,156	25	$\frac{1}{9,3}$	1,121
270 $w + 90 s$	$49\frac{3}{4}$	20	$\frac{1}{11,5}$	1,095	$22\frac{1}{2}-25$	$\frac{1}{11,5}$	1,095
330 $w + 30 s$	$60\frac{1}{12}$	$22\frac{1}{2}$	$\frac{1}{15,3}$	1,07	25	$\frac{1}{11,9}$	1,091

Rechtes Auge.

Sectorenverhältniss von C	Helligkeit von C	außen			innen		
		Winkel	$\frac{C-J}{C}$	$\frac{C}{J}$	Winkel	$\frac{C-J}{C}$	$\frac{C}{J}$
120 $w + 240 s$	$22\frac{2}{3}$	20°	$\frac{1}{4,6}$	1,274	$20-22\frac{1}{2}^\circ$	$\frac{1}{5,3}$	1,212
150 $w + 210 s$	$28\frac{1}{3}$	20	$\frac{1}{5}$	1,259	25	$\frac{1}{6,2}$	1,191
180 $w + 180 s$	$33\frac{1}{2}$	$20-22\frac{1}{2}$	$\frac{1}{7,7}$	1,149	25	$\frac{1}{8,5}$	1,134
270 $w + 90 s$	$49\frac{3}{4}$	20	$\frac{1}{11}$	1,1	25	$\frac{1}{10,6}$	1,104
330 $w + 30 s$	$60\frac{1}{12}$	$22\frac{1}{2}$	$\frac{1}{12,9}$	1,084	$22\frac{1}{2}-25$	$\frac{1}{12,4}$	1,088

1) H (= Hintergrund) = $270 s + 90 w = 17\frac{1}{4}$ ($s = 1$; $w = 66$).

wir sie in der Richtung des horizontalen Meridians gefunden und als zweckentsprechend bezeichnet haben.

Es muss auf den ersten Blick sehr eigenthümlich und widersprechend erscheinen, dass die gefundenen Werthe für die Empfindlichkeit der untersuchten Netzhautstellen bei den verschiedenen zur Anwendung gelangten Sektorenverhältnissen nicht dieselben sind. Ich habe zur Uebersicht in Tabelle VII die Maxima der Empfindlichkeit für den horizontalen Meridian zusammengestellt. Die größte Empfindlichkeit fällt zwar stets in eine Entfernung von 20—25° vom Centrum, aber bei geringerer Helligkeit der Scheiben, wo der Unterschied zwischen Scheiben und Hintergrund kleiner war als bei größerer Intensität der Scheiben, scheint die Empfindlichkeit offenbar verhältnissmäßig größer zu sein. Das sieht auf den ersten Blick wie ein directer Widerspruch aus. Man wolle aber bedenken, dass auch der Hintergrund auf die seitlichen Partien anders wirken muss als auf die centralen. Da derselbe jedoch eine continuirliche Fläche bildet, so werden wir uns des allmählichen Uebergangs in eine intensivere Lichtempfindung nicht bewusst, ähnlich wie wir, wenn sich unser Auge vor einer großen gleichmäßig rothen Fläche befindet, glauben, die ganze Fläche roth zu sehen, während doch ein großer Theil der Netzhaut gar nicht die Fähigkeit besitzt, die Empfindung des Rothen zu vermitteln. Sobald aber die Continuität der Fläche unterbrochen wird, so merken wir, dass die indirect gesehene Theile nur gelb erscheinen. Dass, ganz analog dieser Erscheinung, der durch den gleichmäßig erhellten Hintergrund auf die seitliche Netzhaut ausgeübte verstärkte Einfluss wohl vorhanden, nur wegen seiner Geringfügigkeit und wegen des allmählichen Uebergangs nicht auffällig genug ist, um bemerkt zu werden, das lehrt die Thatsache, dass die erwähnten Helligkeitsverhältnisse sich umkehren, wenn die Scheiben dunkler sind als der Hintergrund. Es wurde beispielsweise der Versuch mit zwei gleichen ganz schwarzen Scheiben gemacht, wobei die nicht fixirte entschieden dunkler erschien. Da ich anfangs hier eine Täuschung nicht für ausgeschlossen hielt, so veranlasste ich des öfteren ganz unbefangene Personen, welche über die Anordnung und den Zweck der Untersuchungen nicht näher unterrichtet waren, zu derselben Beobachtung; sie hatten genau dieselbe Empfindung: die indirect

gesehene Scheibe wurde für dunkler gehalten. Es kann dies nur eine Folge davon sein, dass der Hintergrund im indirecten Sehen heller erscheint und daher das Schwarz der indirect gesehenen Scheibe ($= \frac{1}{66}$ Weiß) durch den Contrast mehr verdunkelt wurde als das der fixirten. Es musste indessen davon Abstand genommen werden, den Grad dieser Verdunkelung für bestimmte Entfernungen zu ermitteln, da der Zusatz von Weiß, welcher nöthig gewesen wäre, um die subjective Gleichheit wieder herzustellen, sich als zu klein erwies, um mit den angewandten Apparaten gemessen werden zu können. Waren Hintergrund und Scheiben gleich an Helligkeit, so wurde trotzdem, da die letzteren, vielleicht wegen äußerst geringer Farbenunterschiede oder aus anderen nicht festzustellenden Ursachen, nicht zur völligen Verschmelzung mit dem Hintergrund gebracht werden konnten, die indirect gesehene Scheibe als »heller« erachtet; auch hier konnte begrifflicher Weise von einer quantitativen Bestimmung nicht die Rede sein.

Es kann nach dem Vorstehenden kaum mehr fraglich erscheinen, dass der durch den Hintergrund bewirkte Contrast auch bei den übrigen Reihen eine wesentliche Rolle mitspielte. Wenn man die in Reihe VII mitgetheilten Maximalwerthe vergleicht, so findet man eine der Abnahme der absoluten Helligkeit parallel gehende stetige Zunahme der Empfindlichkeit, welche sich nur als eine Wirkung des Contrastes zwischen Objecten und Hintergrund erklären lässt. Der Helligkeitscontrast wächst, wie in den Versuchen von Lehmann¹⁾ nachgewiesen ist, nicht unbeschränkt mit dem Unterschiede der contrastirenden Intensitäten, sondern erreicht bei einer gewissen mittleren Helligkeitsdifferenz sein Maximum. In Folge dessen ist eine sehr helle Scheibe, z. B. eine ganz weiße, nicht mehr einer so starken Contrastaufhellung fähig wie eine weniger helle. Unter der Annahme nun, dass die von Lehmann und Neiglick nachgewiesenen Gesetze über den Helligkeitscontrast auch für die seitliche Retina Gültigkeit besitzen, sieht man leicht ein, dass, wenn die Helligkeitsdifferenz zwischen Grund und Object unterhalb jener Differenz liegt, welche dem Maximalcontrast entspricht, die Bedingungen für eine möglichst große Contrastauf-

1) Wundt, Philos. Studien, III, S. 497.

hellung für die indirect gesehene Scheibe günstiger sein müssen als für die fixirte. Ist dagegen die Maximaldifferenz überschritten, so ist die central gesehene Scheibe entschieden im Vortheil. Daraus erklärt es sich dann, dass die Versuche mit helleren Scheiben geringere Werthe für die Helligkeitsempfindlichkeit ergaben, indem hier der Contrast entgegenwirkte, während er bei den Versuchen mit dunkleren Scheiben fördernd wirkte. Es musste jedoch davon abgesehen werden, die von Lehmann gefundenen Werthe mit den vorliegenden Versuchen in Beziehung zu bringen, und zwar aus folgenden Gründen: Es ist erstlich nicht gestattet, von vornherein anzunehmen, dass die von Lehmann gefundenen Maximaldifferenzen auch für die seitliche Netzhaut Gültigkeit besitzen; sodann sind die Versuche Lehmann's im gelben Lampenlicht, die meinen im Tageslicht angestellt. Endlich kommt hier noch ein rein psychisches Moment in Betracht, welches meines Erachtens bei allen Contrastbeurtheilungen nicht außer Acht gelassen werden darf: die Vergleichung mit außerhalb des betreffenden Experimentes stehenden aber doch im Gesichtsfeld befindlichen Gegenständen.

Wie schon oben erwähnt, hat der Contrast bei einer mittleren Helligkeit seine größte Stärke. Wird die Helligkeit größer, so wird der Contrast wieder geringer, da die Aufhellung eines ohnehin schon sehr hellen Gegenstandes nicht mehr beträchtlich ausfallen kann. Die zu beurtheilende Intensität nähert sich gewissermaßen einem Helligkeitsmaximum, bei welchem überhaupt keine Contrastaufhellung mehr möglich ist. Nun ist aber dieses Helligkeitsmaximum kein absolutes, sondern von der jeweiligen Umgebung des Beobachters abhängig und zwar so, dass der hellste der im Gesichtsfelde befindlichen Gegenstände ungefähr das jeweilige Helligkeitsmaximum repräsentirt oder doch wenigstens demselben sehr nahe kommt. Dieser Umstand ist es, der es uns so leicht macht, uns bei dem Anblick von Gemälden, Panoramen, transparenten Stereoskopien u. s. w. in die Wirklichkeit versetzt zu glauben. Eine schwarz gestrichene Wand erscheint uns auch bei heller Beleuchtung schwarz. Blicken wir aber durch eine innen geschwärzte Röhre nach derselben, so erscheint sie uns keineswegs mehr schwarz; ja wenn wir nicht gerade wissen, dass es sich um eine »schwarze« Wand handelt, so kann sie sogar den Eindruck des Weißen machen.

Dies ist nur zum kleinen Theile eine Folge des Contrastes und beruht im Uebrigen auf der erwähnten Eigenschaft unseres Gesichtsinnes, vermöge deren wir uns auf Grund der gerade in unserem Sehfelde vorhandenen Intensitäten des farblosen Lichtes eine Art Helligkeitsmaximum construiren, welches der Aufhellung durch den Contrast Grenzen setzt. Ein Blatt weißes Papier oder eine weiß angestrichene Wand sind für gewöhnlich jenem Helligkeitsmaximum so nahe, dass wir eine merkliche Aufhellung dieser Gegenstände durch irgend welchen Contrasteinfluss nicht bewirken können. Befindet sich aber in der Nähe jener weißen Wand oder des Papiers frisch gefallener Schnee, der dem Auge ein viel helleres und reineres Weiß darbietet als Papier oder Kalkfarbe, so kann die Contrastaufhellung dieser letzteren wohl empfunden werden, da wir nunmehr unser selbstconstruirtes Helligkeitsmaximum um ein Beträchtliches verschoben haben. Ganz ähnlich verhält es sich ja auch bei der Beurtheilung der Sättigung und Reinheit der Farben. Ein Pigment kann auf unser Auge den Eindruck größter Sättigung und Reinheit machen, so lange wir nicht dieselbe Farbe in größerer Sättigung und vollkommenerer Reinheit zum Vergleich daneben haben. Wird uns die letztere Möglichkeit geboten, so wird das betreffende Pigment wieder auf eine geringere Stufe der Reinheit und Sättigung zurückversetzt, in welcher es dann auch wieder eine Hebung durch den Contrast erfahren kann, deren es ohne jene Möglichkeit des Vergleichs nicht fähig war.

In dem vorliegenden Falle macht sich der Einfluss dieser auf rein psychischen Vorgängen beruhenden Erscheinung, welche wohl zu unterscheiden ist von der durch physiologische Verhältnisse bedingten Adaptation, in der Weise geltend, dass bei den Versuchen mit sehr hellen Scheiben ($270 w + 90 s$ und $330 w + 30 s$) die Aufhellung nur noch eine ganz geringe sein konnte (es war ja strenge vermieden worden, dass hellere Gegenstände im Gesichtsfelde auftreten); und zwar musste sie auf der seitlichen Netzhaut, wo die subjective Helligkeit eine größere war, noch geringer ausfallen als im centralen Sehfelde. Es sind somit die Reihen V und VI diejenigen, deren Ergebnisse am wenigsten durch den Contrast beeinflusst sind, und die bei diesen Versuchen gefundenen Zahlen dürften den wirklichen Werthen der Helligkeitsempfindlichkeit am nächsten kommen,

während die hohen Werthe der Reihen I, II und III muthmaßlich der verstärkenden Mitwirkung des Contrastes zu verdanken sind. Daher schien mir auch die Reihe V, für welche aus diesem Grunde die Versuche nach vier verschiedenen Meridianen ausgeführt wurden, am besten geeignet zu einer graphischen Darstellung, wie ich dieselbe in der Figur 4 (S. 475) zu geben versucht habe. Es darf jedoch auch hier nicht vergessen werden, dass der Einfluss des Contrastes bei Versuchen, bei welchen es sich um Unterscheidung von Intensitäten handelt, niemals völlig beseitigt werden kann.

Es sei an dieser Stelle auch erwähnt, dass die Verlegung des inneren Blickpunktes, wie ja auch von vornherein zu erwarten, keine Erweiterung resp. Verengung der Pupille zur Folge hat. Dies wurde festgestellt durch einige Versuche mittelst des Phakoskops, welche im Verein mit Herrn Dr. Külpe, dem Assistenten des psychologischen Instituts, der mich bei den vorliegenden Untersuchungen in dankenswerther Weise mit Rath und That unterstützte, angestellt wurden. Das Auge des Beobachteten sah nach einer viereckigen, etwa einen Quadratzoll großen Oeffnung, welche das Licht einer Lampe durchließ. Durch Hinwegziehen eines Schiebers wurde dann im seitlichen Gesichtsfelde ein heller Punkt sichtbar gemacht, dessen Ausdehnung so gering war, dass durch seine Helligkeit der Quantität des durch den erwähnten viereckigen Spalt zum Auge gelangenden Lichtes keine nennenswerthe Größe hinzugefügt wurde, während jedoch sein plötzliches Auftreten den Beobachter nöthigte, seine Aufmerksamkeit nach dieser Stelle des Sehfeldes zu verlegen. Weder in dem Augenblicke, wo dies geschah, noch in der Folge konnte Herr Dr. Külpe bei den Versuchen an meinem Auge eine Aenderung der Pupillenweite wahrnehmen. Ich habe die Versuche sodann an Herrn Dr. Külpe's Auge wiederholt, und zwar mit demselben Erfolge. Auch an dem Hornhaut- und Linsenbildchen war nicht die geringste Größen- und Lagenänderung wahrzunehmen. Somit ist nicht zu befürchten, dass die Resultate der vorstehenden Untersuchungen durch unbeachtet gebliebene Veränderungen in den die Zufuhr des Lichtes und die Accommodation regulirenden Apparaten des Auges beeinträchtigt worden sind.

Bei den Untersuchungen der senkrechten Meridiane wurde versuchsweise auch eine binoculare Beobachtung angewandt; indessen war hierbei die Schätzung auffälliger Weise sehr unsicher. Eine interessante Erscheinung, welche zu erwähnen ich hier nicht vergessen will, trat bei binocularer Beobachtung ein, wenn die Scheiben etwa 30—40 cm von einander entfernt waren. Das indirect gesehene Object verschwand nämlich zuweilen, und zwar so vollständig, dass man glaubte nur den Hintergrund zu sehen. Dieses Verschwinden erschien mir um so räthselhafter, als bei monocularer Beobachtung auch bei größerer Entfernung der Scheiben nichts dergartiges wahrgenommen wurde.

Ich suchte daher die Dauer der Verschwindungszeiten mittelst eines bis auf $\frac{1}{5}$ Sec. genau angehenden Druck-Chromometers annähernd festzustellen und fand bei Zugrundelegung mehrerer Reihen von je 10 Versuchen, dass dieselbe im oberen Gesichtsfelde im Durchschnitt 1,1—1,2 Secunden, im unteren dagegen 1,6—1,8 Secunden betrug. Die Intervalle zwischen den einzelnen Unterbrechungen schienen ganz unregelmäßig zu sein.

Herr Professor Wundt, dem ich von dieser Erscheinung Mittheilung machte, erklärte dieselbe in folgender Weise: Da bei der in Frage kommenden Stellung der Augen und Anordnung der Objecte die indirect gesehene Scheibe nicht in den Horopter fällt, so decken sich die Bilder nicht vollständig, und es treten auf beiden Seiten des nur theilweise zur Deckung gelangten Bildes Uebergangszonen auf (wo das eine Auge den Hintergrund, das andere die Scheibe sieht), welche die Verschmelzung mit dem Hintergrund erleichtern, wobei gleichzeitig das fortwährende (wenn auch unbewusste) Bestreben, die Bilder dennoch zur Coincidenz zu bringen, eine früher als gewöhnlich eintretende Ermüdung des Auges herbeiführt.

Eine zweite nicht minder auffallende Erscheinung, welcher in der bisherigen einschlägigen Litteratur meines Wissens keine Beachtung geschenkt wird, darf nicht unerwähnt bleiben. Wenn eine aus schwarzen und weißen Sektoren zusammengesetzte Scheibe im Lampenlicht oder im abgedämpften Tageslicht eben gerade schnell genug rotirt, um das Schwarz und Weiß zu einem homogenen Grau verschmelzen zu lassen, so genügt diese Rotationsgeschwindigkeit:

nicht mehr, sobald eine hellere Beleuchtung eintritt, etwa Magnesiumlicht oder helles Tageslicht. Es ist hier nicht der Ort auf die Ursachen dieses Verhaltens einzugehen. Es interessirt uns hier nur die Thatsache, dass ganz dasselbe eintritt, wenn die erwähnte Scheibe statt bei verstärkter Beleuchtung im directen, bei constanter Beleuchtung im indirecten Sehen beobachtet wird. Ist die Rotationsgeschwindigkeit beim Fixiren der Scheibe eben genügend, um eine Verschmelzung zu homogenem Grau zu bewirken, so bemerkt man, wenn das Object aus dem Centrum des Sehfeldes entfernt wird, wieder ein deutliches Flimmern, was um so mehr zunimmt, je mehr das Bild von dem Centrum entfernt wird.

Lässt man eine Scheibe etwas langsam rotiren, so dass sie auch bei centraler Fixation noch etwas flimmert, so thut sie dies im indirecten Sehen in erhöhtem Maße. Man hat den Eindruck, als ob sich die Sektoren, die man fast getrennt sieht, viel langsamer bewegen, als es in Wirklichkeit geschieht, und ist beim Zurücksehen erstaunt, die Scheibe, die im indirecten Sehen schon fast still zu stehen schien, noch in schneller Rotation zu erblicken.

Da ich anfangs den Verdacht hegte, dass dieses eigenthümliche Verhalten der seitlichen Netzhaut auf abnorme Erregungszustände meines Auges, vielleicht durch die zahlreichen und anstrengenden Versuche verursacht, zurückzuführen sei, so veranlasste ich verschiedene auf das indirecte Sehen nicht eingewohnte Personen zu dem gleichen Versuche. Diese beobachteten genau dasselbe. Auch einige Versuche mit farbigen Scheiben lieferten eine Bestätigung. Eine aus ultramarinblauen und orangefarbenen Sektoren bestehende Scheibe lieferte bei einer gewissen Rotationsgeschwindigkeit im directen Sehen ein homogenes Violett. Im indirecten Sehen dagegen bemerkte man ein deutliches Flimmern, und wenn das Object in größere Entfernung vom Centrum des Sehfeldes gebracht wurde, so sah man die Componenten, Orange und Blau, getrennt.

Um diese interessante Erscheinung etwas genauer zu untersuchen, benutzte ich einen sonst anderen Zwecken dienenden Rotationsapparat, der aus einer etwa 20 cm hohen, um eine senkrechte Achse rotirenden Trommel bestand, welche durch Federkraft in Bewegung gesetzt wurde. Die Regulirung der Umdrehungsgeschwindigkeit geschah durch Windflügel. Durch einen automatisch

functionirenden Hebelcontact wurde bei jeder Umdrehung ein Geräuschverursacht, welches eine leichte Zählung der Umdrehungen gestattete; Bruchtheile einer Umdrehung konnten auf einem getheilten Kreise abgelesen werden. Die erwähnte Trommel wurde mit schwarzem, glanzlosem Papier überzogen, welches mit 137 in Abständen von $2\frac{2}{3}$ mm stehenden, senkrecht verlaufenden, weißen Strichen von $1\frac{1}{3}$ mm Breite versehen war. Das Schwarz des Grundes entsprach einem Sectorenverhältnis von $353 s + 7 w$ der oben näher beschriebenen Scheiben. Das bei schneller Umdrehung der Trommel entstehende Grau stimmt mit einem Grau der Scheiben überein, welches aus $278 s + 82 w$ zusammengesetzt war. Daraus ergibt sich durch einfache Rechnung, dass die Helligkeit des schwarzen Grundes zu der der weißen Linien in dem Verhältniss von 1 : 20 stand.

Vor der beschriebenen Trommel befand sich ein schwarzer Carton mit quadratischem Ausschnitt von $3\frac{1}{2}$ cm Seite. Es wurde nun entweder dieser Ausschnitt selbst oder ein seitlich davon gelegener Punkt fixirt und die Umdrehungsgeschwindigkeit des Apparates soweit regulirt, dass der hinter dem Ausschnitte sichtbare Theil der Trommeloberfläche zu einem homogenen Grau verschmolz.

Bei diesen Versuchen, bei deren Ausführung Herr Dr. Külle die Güte hatte mich zu unterstützen, wurde folgendes Verfahren eingeschlagen: Das Auge des Beobachters befand sich genau 50 cm von dem erwähnten Ausschnitt entfernt und fixirte zunächst den Mittelpunkt des Ausschnitts; es wurde sodann dem Apparate diejenige Geschwindigkeit ertheilt, welche nothwendig war, um die schwarzen und weißen Streifen zu einem gleichmäßigen Grau verschmelzen zu lassen. War dies geschehen, so wurde mittelst eines Chronometers die Geschwindigkeit des Apparates festgestellt. Nun wurde ein Punkt *a* seitlich von dem Ausschnitt fixirt, während die Aufmerksamkeit immer auf den Ausschnitt selbst gerichtet blieb. Es musste nunmehr die Geschwindigkeit der Umdrehung erhöht werden, um ein homogenes Grau zu erhalten. Eine noch schnellere Rotation war erforderlich bei Fixirung eines noch weiter seitlich gelegenen Punktes *b* u. s. f.

Ich gebe in Tabelle VIII die Resultate zweier Versuchsreihen für den Horizontalmeridian des rechten Auges. Man ersieht daraus,

Tab. VIII.

Versuchsreihe A.

Winkelent- fernung vom Centrum des Sehfeldes	nach außen		nach innen	
	Zahl der Um- drehungen in einer Secunde	Zahl d. innerhalb einer Secunde vorübergehenden weißen Linien	Zahl der Um- drehungen in einer Secunde	Zahl d. innerhalb einer Secunde vorübergehenden Striche
0°	0,815	111,66	0,645	88,37
5 ³ / ₄	0,96	131,52	0,806	110,42
9	1,15	157,55	0,978	133,98
12 ¹ / ₂	1,3	178,1	1,111	152,21
16 ³ / ₄	1,467	200,98	1,311	179,61

Versuchsreihe B.

Winkelent- fernung vom Centrum des Sehfeldes	nach außen		nach innen	
	Zahl der nö- thigen Um- drehungen i. einer Sec.	Zahl d. Wechsel zwischen Schwarz und Weiß in einer Secunde	Zahl der nö- thigen Um- drehungen i. einer Sec.	Zahl d. Wechsel zwischen Schwarz und Weiß in einer Secunde
0°	0,654	89,60	0,605	82,89
5 ³ / ₄	0,85	116,65	0,8	109,6
9	1,02	139,74	0,976	133,71
12 ¹ / ₂	1,075	147,28	1,087	148,92
16 ³ / ₄	1,408	192,90	1,316	180,29

wie die Rotationsgeschwindigkeit mit wachsender Entfernung des Objectes von dem Centrum des Sehfeldes zunehmen musste. Indessen ist diesen Versuchen ein hoher Grad von Genauigkeit nicht beizumessen, da die Gleichmäßigkeit der Bewegung des Apparates zu wünschen übrig ließ, und da ferner die Verschmelzung des Schwarz und Weiß zu Grau hier nicht so leicht von statten geht wie bei rotirenden Scheiben. Es treten zuweilen, auch bei sehr schneller Rotation, horizontal verlaufende Streifen auf, welche die Sicherheit der Schätzung wesentlich stören.

Fragen wir uns nun nach der Erklärung dieser Erscheinung. Wir sahen oben, dass die Verstärkung der Beleuchtung eine Erhöhung der Rotationsgeschwindigkeit nothwendig macht. Wenn wir nun sehen, dass ganz dasselbe bei der Verschiebung des Objectes nach peripherischen Theilen des Sehfeldes stattfindet, so berechtigt das doch einigermaßen zu dem Schlusse, dass beide Erscheinungen dieselbe Ursache haben, d. h. dass auch auf der seitlichen Netzhaut eine verstärkte Erregung der lichtempfindlichen Organe vor sich geht. Mit andern Worten: die seitlichen Regionen der Retina sind lichtempfindlicher als die centralen.

Herr Professor Wundt machte mich jedoch darauf aufmerksam, dass auch die Vertheilung der Netzhautelemente hierbei eine Rolle spielen könne, so dass die vorerst erbrachte Erklärung nicht die einzig mögliche dieser Erscheinung zu sein brauche.

Sind *a* und *b* (Fig. 5) zwei benachbarte Netzhautelemente der Centralgrube, *c* und *d* aber eben solche in peripherischen Regionen, so werden zwar, wenn eine schwarz-weiße Scheibe vor dem Auge rotirt, in *c* und *d* in einer gegebenen Zeit die schwarzen und weißen Sektoren ebenso oft mit einander abwechseln wie in *a* und *b*. Aber wir füllen bekanntlich den Raum zwischen den einzelnen Nervelementen mit der Empfindung der letzteren aus. Wenn nun der Abstand der Punkte *c* und *d* das doppelte der Entfernung zwischen *a* und *b* ist, so bedarf beispielsweise ein schwarzer Sector auch der doppelten Zeit, um von *c* nach *d* zu gelangen; es wird infolge dessen der Raum zwischen *c* und *d* doppelt so lang mit der Empfindung »Schwarz« ausgefüllt als der zwischen *a* und *b*. Hinsichtlich

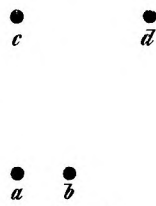


Fig. 5.

der Ausfüllung der Zwischenräume finden nun drei Möglichkeiten statt. Entweder sind die einen solchen Raum umschließenden Netzhautelemente sämtlich durch weißes Licht erregt, in diesem Falle ist der Zwischenraum mit der Empfindung »Weiß« ausgefüllt; oder aber es sind sämtliche durch Schwarz erregt, dann füllt die Empfindung »Schwarz« den Raum aus. Oder endlich es sind die Netzhautelemente theils durch Weiß, theils durch Schwarz erregt; in diesem Falle geschieht die Ausfüllung mit der Mischempfindung »Grau«. Man sieht, in einem gegebenen Momente ist sowohl in centralen wie in peripherischen Regionen ein Theil der Zwischenräume schwarz, ein anderer Theil weiß, ein dritter grau ausgefüllt, so dass man die betreffenden Netzhautstellen mit Schachbrettern von dreierlei Feldern vergleichen könnte. Da diese Schachbrettfelder aber in den peripherischen Regionen größer sind und langsamer wechseln als in den centralen, so werden sie dort auch weniger leicht zur Verschmelzung zu bringen sein, infolge dessen es für diese Regionen einer größeren Rotationsgeschwindigkeit bedarf.

Es ist weiter oben (Fig. 3) gezeigt worden, dass der durch die Diaphragma-Einrichtung des Auges bedingte Abfall der Helligkeit des Netzhautbildes durch eine der Cosinuslinie nahe kommende Curve dargestellt werden könne, während die dem thatsächlichen

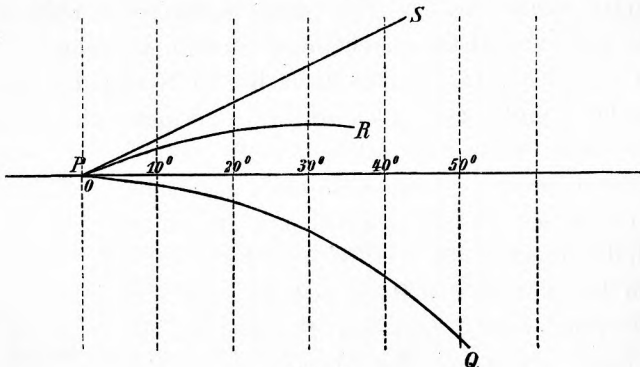


Fig. 6.

Bestande der Helligkeitsempfindung entsprechende Linie mehr oder minder von der Geraden abweichen müsse. Wir sind jetzt in der Lage, auf Grund der in den Tabellen verzeichneten Versuche den Verlauf dieser letzteren Linie, wenigstens in einem Theile derselben

genauer zu ermitteln. In Fig. 6 ist PQ die erwähnte Curve der objectiven Helligkeit des Netzhautbildchens. Zur Construction von PR sind die in Tabelle V, »linkes Auge außen« verzeichneten Werthe als Ordinaten angewandt. Es stellt somit PR die thatsächliche Helligkeitsempfindlichkeit dar. Versucht man nun durch Addition der Ordinaten von PR und PQ auf jene weiter oben erörterte, der wirklichen Empfindlichkeitscurve (welche nicht ermittelt werden

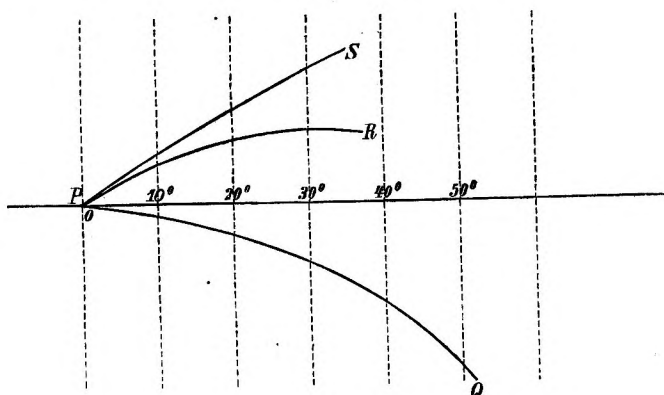


Fig. 7.

kann) substituirte Curve zu gelangen, so erhält man eine der Geraden sehr nahe kommende Linie PS . Auch wenn man zu dieser Darstellung eine der anderen Tabellen benutzt, erhält man als Substitutionscurve nahezu eine Gerade, wie beispielsweise in Fig. 7, welcher die Empfindlichkeitswerthe der Tabelle IV zu Grunde liegen.

Wir haben im Vorstehenden dargethan, dass die durch die physikalische Beschaffenheit des dioptrischen Apparates unseres Auges bedingte Abnahme der objectiven Intensität der Bilder auf der seitlichen Retina durch eine erhöhte Empfindlichkeit dieser Netzhautstellen nicht nur aufgewogen, sondern sogar noch überboten wird, dergestalt dass das Maximum der Helligkeitsempfindlichkeit im horizontalen Meridian auf der Schläfenseite in einer Entfernung von $22\frac{1}{2}$ — 25° , auf der nasalen Seite aber etwa 5° weiter auswärts seinen Platz hat. In der Richtung des verticalen

Meridians liegen die Maxima etwa $12\frac{1}{2}$ — 15° vom Centrum entfernt und ist hier die Empfindlichkeit, besonders auf der untern Hälfte der Netzhaut erheblich geringer. Da ich eine genaue Untersuchung nur am eigenen Auge vornehmen konnte, so ist die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, dass sich bei den Augen Anderer, entweder durch ursprünglich vorhandene Verschiedenheit oder durch eine andere Gewöhnung des Sehorgans verursacht, hinsichtlich der Lage der Maxima mehr oder minder erhebliche Abweichungen herausstellen werden, was auch schon daraus hervorgeht, dass, wie aus der in Figur 5 dargestellten Projection zu ersehen, meine beiden Augen sich keineswegs ganz gleich verhalten. Im Großen und Ganzen aber dürften die Verhältnisse bei den meisten Augen ziemlich dieselben sein.

Diese Eigenschaft unseres Sehorgans, dass die Stelle des schärfsten Sehens nicht auch zugleich die lichtempfindlichste ist, bedeutet jedoch keineswegs eine nachtheilige Einrichtung für uns. Im Gegentheil, sie ist als äußerst vortheilhaft und zweckmäßig zu betrachten. Schon für den Bewegungsmechanismus des Auges bietet dieselbe wesentliche Vortheile; denn die erhöhte Empfindlichkeit auf den seitlichen Partien hat auch eine verstärkte Innervation der Bewegungsmuskeln zur Folge; es genügen daher verhältnissmäßig geringe Intensitäten, um den Antrieb zu einer Bewegung des Auges nach der betreffenden Richtung zu ertheilen. Der verhältnissmäßig größte Bewegungsimpuls geschieht von denjenigen Stellen aus, die die größte Empfindlichkeit besitzen. Wenn wir im Freien oder vor einer gleichmäßig erhellten Wand den Blick ungezwungen umherschweifen lassen, so macht das Auge thatsächlich fast nur Bewegungen in einem Winkel von 20—25 Grad in horizontaler, und von 10—15 Grad in verticaler Richtung, oder auch Combinationen aus beiden. Diese Bewegungen sind unter den obwaltenden Verhältnissen die angemessensten. Zwingen wir aber das Auge, längere Zeit hindurch erheblich kleinere oder größere Bewegungen auszuführen, so erfordert dies auch eine bedeutendere Anstrengung und verursacht eine viel schneller als gewöhnlich eintretende Ermüdung; so beim Correcturlesen und beim Lesen sehr kleiner Druckschrift.

Der Umstand aber, dass die Verschmelzung bewegter Gegenstände mit ihrer Umgebung im indirecten Sehen eine größere

Geschwindigkeit der Bewegung erfordert, ist von nicht zu verkennendem Werthe; denn gerade diese Eigenschaft unseres Sehorgans bringt es mit sich, dass wir selbst an den äußersten Grenzen des Gesichtsfeldes noch Bewegungen sehr kleiner Objecte wahrnehmen. Es bedarf nur eines sehr kleinen Helligkeitswechsels, nur äußerst geringer Ortsveränderung der indirect gesehenen Gegenstände, um unsere Aufmerksamkeit abzulenken und den Antrieb zu einer entsprechenden Bewegung des Auges zu geben.

Auf die Frage nach den psychophysischen oder physiologischen Ursachen dieser erhöhten Empfindlichkeit der peripherischen Retina näher einzugehen ist nicht die Aufgabe dieser Arbeit. Indessen sei mir gestattet darauf hinzuweisen, dass von anderer Seite die Vermuthung ausgesprochen wurde, die Außenglieder der Stäbchen seien als katoptrische Apparate zu betrachten. Wundt sagt, nachdem von den Functionen der Krystallstäbchen bei den niederen Thieren, die hier sichtlich noch den Charakter von brechenden Medien tragen, die Rede war: in den Augen der Wirbelthiere habe die Lagerung der Netzhautschichten sich umgekehrt; es liege daher nahe zu vermuthen, dass die Krystallstäbchen oder Außenglieder zu katoptrischen Gebilden geworden seien. »Nachdem durch die vollkommenere Entwicklung der vor der Netzhaut gelegenen brechenden Medien dioptrische Hilfsmittel in der Netzhaut selbst überflüssig geworden sind, können diese Gebilde durch ihre Umlagerung eine neue Bedeutung gewinnen, indem sie nun, als Reflexspiegel wirkend, die durch die Sehzellen hindurchgegangenen Strahlen zum Theil noch einmal in dieselben zurückwerfen und so in ihnen den Vorgang der Lichtreizung verstärken.«¹⁾

Diese Ansicht wird durch die Resultate der vorstehend mitgetheilten Untersuchungen nicht unwesentlich unterstützt. Denn es ist bekannt, dass gerade die Außenglieder der Stäbchen ungleich mächtiger entwickelt sind, daher auch ihre Wirkung als katoptrische Instrumente größer sein muss als die der Zapfenaußenglieder. Die Stelle des deutlichsten Sehens besitzt aber, wie bekannt, nur Zapfen, keine Stäbchen. Demnach sind wohl die ersteren zur Erzielung einer scharfen Auffassung distincter Objecte vorzugsweise geeignet.

1) Wundt, *Physiol. Psychologie*. Bd. I³. S. 329.

Nach der Peripherie hin werden dann die Zapfen spärlicher, und es treten die lichtempfindlicheren Stäbchen dazwischen. Wenn nun weiter nach außen beide, Stäbchen und Zapfen, wieder spärlicher werden, so muss sich zwischen Centrum und Peripherie eine Zone befinden, wo die Stäbchen am dichtesten stehen. Es wäre eine Aufgabe der Anatomie der Netzhaut, zu erforschen, ob und in wie weit die Stellen des dichtesten Standes der Stäbchen sich mit denjenigen der größten Helligkeitsempfindlichkeit decken. Denn es liegt der Gedanke sehr nahe, dass gerade die Stäbchen es sind, welchen die Aufgabe zufällt, die durch die dioptrischen Einrichtungen des Auges bedingte Abnahme der Helligkeit auf der seitlichen Netzhaut zu compensiren und noch darüber hinaus jene erhöhte Empfindlichkeit zu schaffen, in welcher wir im Vorstehenden eine für das indirecte Sehen und den Bewegungsmechanismus des menschlichen Auges so wichtige und nützliche Einrichtung erkannt haben.

Für diese Ansicht spricht auch die Thatsache, dass in der Netzhaut des Vogelauges die Stäbchen weit weniger zahlreich auftreten bez. ganz fehlen. Beim Auge der meisten Vögel finden wir hinsichtlich der Form, Lage und Ausdehnung der die Bilder auffangenden Fläche und des Sehloches ganz andere Verhältnisse, infolge deren ein Abfall der objectiven Intensität der Bilder nach der Peripherie hin, wie wir ihn beim menschlichen Auge fanden, gar nicht, oder doch nur in ganz schwachem Maße auftritt. Da mithin die Nothwendigkeit einer Compensation dieser Helligkeitsabnahme in Wegfall kommt und überdies wegen der geringeren Beweglichkeit des Vogelauges eine gesteigerte Empfindlichkeit seitlicher Netzhauttheile weniger wünschenswerth ist als bei dem menschlichen Auge, so sind jene katoptrischen Instrumente, wie wir sie in den Stäbchen vermuthen, unnöthig.

Zusammenfassung.

1. Die Helligkeitsempfindlichkeit ist in peripherischen Regionen der Netzhaut größer als im Centrum.
2. Dieselbe findet in gewissen, je nach den Richtungen verschiedenen Abständen vom Centrum ihr Maximum und sinkt weiter auswärts nicht erheblich unter dasselbe.

3. Auch für die Wahrnehmung schneller Bewegungen ist die peripherische Netzhaut empfindlicher als die centrale. Rotirende Scheiben bedürfen behufs Verschmelzung der sie zusammensetzenden Sektoren im indirecten Sehen einer größeren Geschwindigkeit als im directen.

4. Die vorstehend aufgeführten Eigenschaften des Auges besitzen den Charakter einer für das Sehen sehr zweckmäßigen Einrichtung und bieten hinsichtlich der Wahrnehmung nicht fixirter Objecte und der an den Grenzen des Sehfeldes vor sich gehenden Bewegungen bedeutende Vortheile.

5. Es ist sehr wahrscheinlich, dass die Außenglieder der Stäbchen, als katoptrische Instrumente wirkend, diese verstärkte Empfindlichkeit der seitlichen Netzhaut bewerkstelligen, woraus sich dann auch die verschiedene Vertheilung der Stäbchen und Zapfen in der menschlichen Netzhaut erklärt.

Nachtrag.

Die vorliegende Arbeit war bereits zum Abschlusse gelangt, als in Pflüger's Archiv für Physiologie eine längere Abhandlung von A. E. Fick über Licht- und Farbenempfindung erschien¹⁾. Da diese Arbeit in einem wesentlichen Theile sich ebenfalls mit der Empfindlichkeit der seitlichen Netzhaut beschäftigt, so sei mir gestattet, im Nachstehenden etwas näher auf die Ergebnisse der Fick'schen Untersuchungen einzugehen.

Zunächst sei darauf aufmerksam gemacht, dass Fick's Versuche zur Ermittlung der Empfindlichkeit der peripherischen Netzhaut sowohl hinsichtlich des Verfahrens, als auch der Tragweite von den meinigen grundverschieden sind. Er sucht die Empfindlichkeit der verschiedenen Netzhautstellen für der absoluten resp. der qualitativen Reizschwelle sehr nahe liegende Intensitäten zu bestimmen, und zwar bei möglichst vollkommen adaptirtem Auge, während meine Versuche darauf ausgehen, die verschiedenen Partien der Netzhaut unter ganz gewöhnlichen Sehverhältnissen, d. h.

1) Pflüger's Archiv, Bd. 43, S. 441 ff. Dr. A. E. Fick, Studien über Licht- und Farbenempfindung.

bei einer mittleren Beleuchtung sowohl der Objecte selbst, als auch der Umgebung, auf ihre Empfindlichkeit zu prüfen. Da unsere Untersuchungen somit unter ganz verschiedenen Verhältnissen an gestellt wurden, so sind unsere beiderseitigen Ergebnisse auch gewissermaßen incommensurabel. Der Zustand völliger, oder doch annähernd völliger Adaptation an die Dunkelheit ist für unser Sehorgan keineswegs ein natürlicher, sondern ein künstlich hervorgerufener und ganz ungewöhnlicher Ausnahmezustand. Das Auge wird, wie jedes andere Organ, unter abnormen Verhältnissen auch in abweichender Art und Weise auf die einwirkenden Reize reagiren, und es ist daher keineswegs gestattet, auf Grund der bei Versuchen mit adaptirter Netzhaut erlangten Ergebnisse auf das Verhalten der seitlichen Retina unter gewöhnlichen Beleuchtungsverhältnissen zu schließen.

Beeinträchtigt werden ferner die Resultate der Versuche Fick's durch die von ihm im Eingange seiner Abhandlung erwähnte Thatsache, dass der Zustand völliger Ruhe der Netzhaut kaum zu erreichen ist und die Erhaltung des Gleichgewichtszustands während der Dauer einer Versuchsreihe geradezu unmöglich erscheinen muss. Erwägt man ferner, dass es sehr fraglich erscheinen muss, ob alle Netzhautregionen der gleichen Zeit zur Erreichung der völligen Adaptation bedürfen — die von Aubert und Charpentier construirten Adaptationscurven gelten doch eigentlich nur für das Netzhautcentrum —, so wird man zugeben müssen, dass alle Versuche, welche darauf abzielen, die Empfindlichkeit verschiedener Netzhautpartien im völligen Gleichgewichtszustand zu prüfen, nicht zu einwurfsfreien Resultaten führen können.

Zwei Umstände scheinen bei Fick ganz unberücksichtigt geblieben zu sein:

Zunächst zieht er die von Aubert in seiner Physiologie der Netzhaut schon angeführte und in der vorstehenden Arbeit des Näheren erörterte Thatsache gar nicht in Betracht, dass die Netzhautbilder auf peripherischen Theilen infolge der Anordnung der Brechungs- und Blendungsapparate des Auges thatsächlich objectiv lichtschwächer sind als im Netzhautcentrum. Die Berücksichtigung dieser Thatsache würde die von Fick gefundenen ohnehin sehr hohen Empfindlichkeitswerthe noch wesentlich erhöhen.

Sodann ist bei der Behandlung der Frage, ob getrennte oder benachbarte Netzhautstellen sich bei dem Erkennen irgend einer Intensität oder Qualität des Lichtes zu unterstützen vermögen, außer Acht gelassen worden, dass auch hierbei die höhere Empfindlichkeit der peripherischen Netzhaut sehr wesentlich in's Gewicht fallen muss. Wenn gefunden wird, dass die Empfindlichkeit der adaptirten Netzhaut 10 oder 15 Grad von der Fovea centralis entfernt das 2- resp. 3fache, ja das 10- oder 20fache von der des Netzhautcentrums betrage, so kann man sich doch nicht denken, dass diese bedeutende Erhöhung der Empfindlichkeit an irgend einer Stelle unvermittelt oder sprungweise eintrete, man muss vielmehr annehmen, dass die Aenderung eine continuirliche, im Centrum ihren Anfang nehmende sei. Dann wird man aber auch nicht umhin können zuzugestehen, dass Netzhautbilder von einem Durchmesser von 32', 88' u. s. w., wie dieselben von Fick angewandt werden, mit ihrem Rande schon auf Stellen höherer Empfindlichkeit als die der Mitte zu liegen kommen. Findet sich nun, dass die Intensität oder Farbe einer Anzahl getrennter Objecte bei einem größeren Gesichtswinkel, jedoch unter sonst gleichbleibenden Bedingungen, leichter und richtiger erkannt wird, so darf daraus noch nicht geschlossen werden, dass dies die Folge der gegenseitigen Unterstützung verschiedener Netzhautstellen sei, sondern es kann das erwähnte Ergebniss ebenso gut in der höheren Empfindlichkeit der bei größerem Gesichtswinkel in Thätigkeit tretenden Netzhautpartien seinen Grund haben. Jedenfalls beweisen die Fick'schen Versuche, solange die Zunahme der Empfindlichkeit nach der Peripherie der Netzhaut nicht in Rechnung gezogen wird, nichts gegen die Annahmen Charpentier's.

Unter Berücksichtigung dieser Verhältnisse ist es auch leicht erklärlich, dass die gegenseitige Unterstützungsfähigkeit getrennter Netzhauttheile größer gefunden werden muss für farbloses Licht als für farbiges.

Was die Resultate der Fick'schen Messungen der Empfindlichkeit seitlicher Netzhautpartien anbelangt, so sind dieselben, wie schon oben bemerkt, mit den meinigen nicht vergleichbar. Eine so außerordentlich hohe Empfindlichkeit der seitlichen Netzhaut, wie sie von Fick für das adaptirte Auge gefunden wird, ist

unter den gewöhnlichen Beleuchtungsverhältnissen für das normale Auge geradezu ausgeschlossen. Wäre unter gewöhnlichen Sehverhältnissen die Empfindlichkeit der peripheren Retina wirklich gleich dem 2- oder 3fachen, oder gar dem 10—20fachen von derjenigen der Netzhautmitte, so müsste uns diese enorme Ungleichheit auch bei dem gewöhnlichen Gebrauche des Sehorganes in hohem Grade störend und unangenehm sein. Eine gleichmäßig erhellte Fläche von mäßiger Ausdehnung und Helligkeit müsste an ihren Rändern blendend hell erscheinen. Von alledem ist jedoch nichts zu bemerken. Im Gegentheil, die in vorstehender Arbeit als thatsächlich vorhanden nachgewiesene erhöhte Empfindlichkeit der peripherischen Netzhaut übersteigt, abgesehen von der durch die optische Construction des Auges nothwendig gewordenen Compensation der objectiven Helligkeitsabnahme der Netzhautbilder, die Empfindlichkeit der Fovea centralis nur um einen Bruchtheil, welcher zwar groß genug ist, um verschiedene nicht zu unterschätzende Vortheile für das indirecte Sehen, namentlich beim Erkennen lichtschwacher Objecte und kleiner Bewegungen, zur Folge zu haben, jedoch anderseits nicht groß genug, um unserem Sehorgan bei Erfüllung seiner Aufgabe wesentliche Störungen zu bereiten.

Die Ergebnisse der Fick'schen Untersuchungen über die Lichtempfindlichkeit der peripherischen Netzhaut mögen daher im Falle völligen oder doch annähernden Gleichgewichts der Netzhaut und bei Anwendung sehr geringer, der Reizschwelle nahestehender Intensitäten vielleicht Gültigkeit besitzen; bei dem gewöhnlichen Gebrauche unseres Sehorgans haben sie offenbar keine Geltung.

Die am Schlusse der Fick'schen Arbeit angeführte Beobachtung, dass ein von blauem Lichte beleuchtetes Mattglasscheibchen unter Umständen purpurroth erscheinen kann, sucht der Verfasser mit den Ergebnissen seiner Untersuchungen über die Empfindlichkeit der nicht centralen Retina für farbloses und farbiges Licht in Einklang zu bringen. Auch im hiesigen Institut für experimentelle Psychologie ist bei verschiedenen Arbeiten das eigenthümliche Verhalten blauer Gläser als sehr störend vermerkt worden. Man kann übrigens eine ähnliche Beobachtung an jedem vor eine Flamme gehaltenen Stückchen Kobaltglas, an jeder blauen Pferdebahnlaterne machen. Die betreffende Lichtquelle erscheint stets von einem

tiefpurpurrothen Saume umgeben. Dies rührt jedoch nicht von der abweichenden Empfindlichkeit der verschiedenen Netzhautregionen für die Farben Roth und Blau her, sondern hat seinen Grund in der verschiedenen Ablenkung, welche jene Farben in den brechenden Medien des Auges erfahren. Roth und Blau (richtiger Violett) weichen hinsichtlich der Brechbarkeit von allen Farben am weitesten von einander ab. Werden nun von einer Fläche nur Strahlen jener beiden äußersten Grenzen der Brechbarkeit ausgestrahlt oder reflectirt — wie dies beispielsweise der Fall ist, wenn man das röthliche Licht einer Petroleum- oder Gasflamme durch blaues Kobaltglas fallen lässt —, so erfahren die rothen und blauen Strahlen in dem keineswegs achromatischen Linsensystem des Auges eine ungleiche Brechung, und da nicht andere Farben vorhanden sind, um eine Vermittelung zu ermöglichen, so fällt der Bildpunkt des rothen Lichtes nicht mehr mit dem des blauen zusammen. Accommodirt man nun für das rothe Bild, so kann das blaue, falls das Object nur einen kleinen Gesichtswinkel besitzt, unter Umständen fast ganz verschwinden. Accommodirt man dagegen für das blaue Bild, so sieht man einen durch die Zerstreuungskreise des rothen gebildeten purpurnen Saum, der an Sättigung der Farbe und Intensität hinter dem Blau des Glases oft nur wenig oder gar nicht zurücksteht. Beim indirecten Sehen tritt die Erscheinung weniger deutlich zn Tage, und zwar weil hier die Empfindlichkeit für die rothe Farbe eine geringere und die Accommodationseinstellung eine ungenauere ist als im Netzhautcentrum und in seiner nächsten Umgebung.
