

(Aus dem physiologischen Institute der Universität Wien.)

Über die Ursachen der Herabsetzung der Sehleistung durch Blendung.

Von

Dr. ALFRED BORSCHKE,

Oberarzt der militärärztlichen Applikationsschule in Wien.

(Mit 5 Fig.)

Sind schon physiologische Untersuchungen über Blendung überhaupt nur in verhältnismäßig geringer Zahl veröffentlicht worden, so sind die Ursachen derselben noch weniger und immer nur mit nebensächlicher kurzer Erwähnung derselben besprochen worden. Eine systematische experimentelle Untersuchung darüber ist mir nicht bekannt.

DEPÈNE¹ gibt als Ursache der Alteration der Sehschärfe bei Blendung zweierlei an, je nachdem eine Besserung oder Verschlechterung der Sehschärfe resultierte. Die Ursache der Besserung sieht er in der Pupillenverengung, die durch das blendende Licht eintritt, indem dadurch die ziemlich stark beleuchteten kleinen Schriftproben schärfer erscheinen. Als Ursache der Verschlechterung der Sehschärfe nimmt er eine Adaptationsstörung der Netzhaut an, ohne sich näher darüber auszusprechen, was er eigentlich darunter versteht.

Eine andere Erklärung der Sehstörung durch Blendung ist die, welche unter anderem E. FUCHS² bei Hornhauttrübungen be-

¹ J. R. DEPÈNE: Experimentelle Untersuchungen über den Einfluss seitlicher Blendung auf die zentrale Sehschärfe. *Monatsbl. f. Augenheilk.* 38.

² E. FUCHS: Lehrbuch der Augenheilkunde 1898, S. 231.

schreibt: „Die Sehstörung durch Blendung, welche bei Gegenwart einer Trübung im Pupillarbereiche der Hornhaut entsteht, erklärt sich auf folgende Weise: Im normalen Auge liegen die Bilder der im Gesichtsfelde vorhandenen Gegenstände auf der Netzhaut nebeneinander, gegenseitig scharf abgegrenzt, helle und dunkle Partien gegeneinander kontrastierend. Wenn nun von einer trüben Stelle der Hornhaut Licht in gleichmäßiger Weise auf die Netzhaut ausgegossen wird, so wird der Unterschied zwischen den hellen und dunklen Teilen der Netzhaut weniger auffallend.“ Diese Erklärung läßt sich aber auch für die im normalen Auge entstehende Blendung anwenden, indem es sich auch hier nicht um vollkommen glasklare Medien handelt. FUCHS schreibt an anderer Stelle: „Die normale Hornhaut ist nicht, wie gewöhnlich angenommen wird, absolut durchsichtig. Man ersieht dies daraus, daß eine Stelle der Hornhaut, welche durch fokale Beleuchtung konzentriertes Licht erhält, grau aussieht, so daß der Unerfahrene an eine pathologische Trübung der Hornhaut denken könnte. Dieselbe reflektiert also eine ziemliche Menge Lichtes. Das gleiche gilt für die Linse sowie überhaupt für alle brechenden Medien des Auges.“¹

A. Welche Umstände können bei Blendung eine Sehstörung hervorrufen?

Nachdem ich nun bereits durch Versuche gefunden hatte, daß der Grad der Verschlechterung der Sehschärfe durch Blendung bei verschiedenen Personen und derselben Versuchsanordnung annähernd der gleiche war², stellte ich mir im Anschlusse daran die Aufgabe, auf experimentellem Wege festzustellen, welche von den theoretisch möglichen Ursachen bei der Sehstörung durch Blendung am meisten in Betracht kommen mögen.

Zunächst also wollen wir eine kurze theoretische Betrachtung aller jener Umstände voranschicken, die imstande sein können, bei Blendung Sehstörung hervorzurufen. Um Mißverständnisse zu vermeiden, muß ich hervorheben, daß ich auch in dieser Mitteilung unter Blendung immer nur diejenige Modifikation des Sehens verstehe, die dadurch entsteht, daß während der Be-

¹ Siehe auch im Nachtrage.

² Vgl. diese Zeitschrift 34, S. 1.

trachtung eines Gegenstandes Licht von irgend einer anderen Stelle ins Auge gelangt.

Die dadurch hervorgerufene Sehstörung kann verursacht sein: entweder durch die optisch-physikalischen Eigenschaften des Auges, oder aber auch durch Vorgänge im nervösen Teile des Sehorgans, von der Netzhaut bis zur Großhirnrinde. Dadurch haben wir die möglichen Ursachen in zwei vollkommen differente Gruppen getrennt, zweierlei Arten der Erklärung, die sich aber nicht gegenseitig ausschließen,

die erste: das auf der Netzhaut entstandene reelle Bild wird infolge der dioptrischen Eigenschaften des Auges durch das blendende Licht so modifiziert, daß auch die durch das Bild erzeugten Erregungen verändert werden,

die zweite: das Bild mag nach wie vor in gleicher Deutlichkeit fortbestehen, dadurch aber, daß benachbarte Teile der Netzhaut von intensivem Lichtreiz getroffen werden, vermag der nervöse Apparat nicht mehr in gleicher Weise seiner Aufgabe nachzukommen.

Die dioptrischen Eigenschaften des Auges bieten ein weites Feld zu theoretischen Überlegungen über die Ursachen jener Modifikation, und zahlreich sind die Umstände, die sich alle möglicherweise am Hervorrufen der Sehstörung beteiligen können.

Zunächst wäre hier die Wirkung der Iris als Diaphragma zu erwähnen. Betrachten wir im dunkeln Raum die eben nur bis zur Kenntlichkeit möglichst schwach erleuchteten Schriftproben, so ist hierbei unsere Pupille ad maximum erweitert. Durch diese große Öffnung vermag eben nur soviel Licht durchzudringen, als unbedingt nötig ist, um die Proben sehen zu können. Wird nun unsere Netzhaut außerdem von einem zweiten, stärkeren Lichtreiz getroffen, so antwortet die Iris mit Kontraktion des Sphinkter, die Pupille wird kleiner. Nennen wir R den Radius der Pupille vor und r nach der Blendung, so bekommen wir von dem Objekte statt der Lichtmenge 1 bloß $\frac{r^2}{R^2}$. Das auf der Netzhaut entstandene Bild ist demnach tatsächlich lichtschwächer geworden, und um denselben Grad der Helligkeit des Netzhautbildes zu erreichen, wie zu Beginn des Versuches, müssen wir den Gegenstand stärker beleuchten und zwar in dem oben angeführten Verhältnis ($r^2 : R^2$).

Das Netzhautbild wird aber auch verschleiert dadurch, daß die blendenden Lichtstrahlen nicht vollkommen in der vorgeschriebenen Bahn bleiben, sondern allenthalben abgelenkt und zurückgeworfen die Netzhaut mit diffusem Lichtschein überdecken. Dieser Lichtschleier kann entstehen durch undurchsichtige, reflektierende, oder durchsichtige Partikelchen von anderem Brechungsindex als das umgebende Medium zwischen der Lichtquelle und der Netzhaut, ferner durch das von der Netzhaut selbst zerstreute und schliesslich durch das die Sklera durchdringende Licht. Die oben genannten Partikelchen können wieder entweder ausserhalb des Auges oder innerhalb desselben gelegen sein. Als Beispiele für den ersteren Fall seien Staub, Rauch und Nebel angeführt. Wir wissen ja, daß an einem nebeligen Tage die Laternen auf der Strasse von einem bedeutend dichteren und weiteren Lichtschleier umgeben sind als an einem klaren Tage (durchsichtige Partikelchen von anderem Brechungsindex), wir wissen, daß in einem von Rauch oder Staub erfüllten Zimmer das durch das Fenster einfallende Sonnenstrahlenbündel deutlich sichtbar wird, und, ob auch der Rauch im Zimmer gleichmäfsig verteilt sein mag, doch unter Umständen nur die von der Sonne beleuchteten Rauchmassen „undurchsichtig“ erscheinen können. Während der unbeleuchtete Rauch oder Staub blofs einen Teil der in unser Auge einfallenden bilderzeugenden Lichtstrahlen uns benimmt, gesellt sich bei der Beleuchtung desselben die Erscheinung der Blendung dazu (undurchsichtige, reflektierende Partikelchen).

Ganz analog müssen derartige Partikelchen in oder an unserem Auge wirken. Sie machen das Bild lichtschwächer und verschleiern dasselbe. Daß sie das Bild lichtschwächer machen, kommt bei der Sehstörung durch Blendung nicht in Betracht, denn dies ist in gleichem Grade auch vor der Blendung der Fall. Es ist demnach nur die verschleiernde Wirkung derselben für uns von Bedeutung.

Daß das von der Netzhaut zerstreute, sowie das die Sklera durchdringende Licht einen diffusen Lichtschein über die Netzhaut verbreitet und somit ebenfalls durch Verschleierung wirken muß, bedarf keiner weiteren Auseinandersetzung, wenn wir uns der verschiedenen Methoden zur Erzeugung der PURKINJESCHEN Aderfigur erinnern.

Auch durch die Verschleierung wird das wirkliche auf der

Netzhaut entstandene Bild eines eben nur bis zur Kenntlichkeit erhellten Gegenstandes dermaßen verändert, daß es nach den psychophysischen Gesetzen von uns nicht mehr wahrgenommen werden kann, wenn die Unterschiedsempfindlichkeit der Netzhaut nach wie vor die gleiche bleibt. Durch stärkere Beleuchtung des Gegenstandes kann man dann die Kontraste des Bildes dermaßen steigern, daß sie den durch die Verschleierung erhöhten Schwellenwert erreichen.

In diesen Überlegungen liegt auch der Grund, warum ich im Gegensatz zu anderen Experimentatoren den Einfluß der Blendung nicht durch Änderung der Größe der Objekte, sondern durch Änderung der Beleuchtungsintensität derselben bei gleichbleibender Größe maß.

Als mögliche Ursachen der Sehstörung durch Blendung können also angesprochen werden:

- A. Adaptationsstörung¹ im nervösen Apparat des Auges;
- B. optisch-physikalische Verhältnisse und zwar hervorgerufen
 1. durch Verschleierung der Bilder,
 2. durch die Wirkung der Iris als Diaphragma.

Die einzelnen Punkte dieser Zusammenstellung sollen in folgendem des Genaueren erörtert und auf ihre Bedeutsamkeit geprüft werden.

B. Versuchsanordnung und Grundversuch.

Zu meinen Versuchen verwendete ich wieder den in der angeführten Mitteilung genauer beschriebenen und abgebildeten Apparat (*diese Zeitschrift* 34, S. 4) zum Teil mit einigen entsprechenden Abänderungen. Das Wesentliche an demselben, das ich zu jedem Versuche benutzte, war der kreisrunde transparente Papierschirm mit den auswechselbaren Schriftzeichen, welcher durch eine schwach leuchtende Glühlampe verschieden stark beleuchtet werden konnte. In der jeweiligen Entfernung der Glühlampe von dem Schirm hatte man ein Maß der Beleuchtungsstärke.

Die Versuchsanordnung zur Erzeugung des blendenden Lichtes war eine verschiedene je nach dem Zwecke des Ver-

¹ Der Einfachheit halber gebrauche ich hier und im folgenden das Wort Adaptationsstörung für Alterationen des Sehnervenapparates, die durch die Erregung des blendenden Lichtes bedingt sind, ohne mich näher über die Art dieser Alteration oder ihre Lokalisation auszusprechen.

suches. Nach Beginn der Blendung wurde die Beleuchtungsstärke der Schriftproben nach Bedarf durch Nähern der Lampe erhöht um die frühere Sehschärfe wieder herzustellen, und die dadurch kleiner gewordene Entfernung der Lichtquelle mit den früheren Resultaten verglichen.

Zunächst untersuchte ich nun den Einfluss des Winkels, den das einfallende blendende Licht mit der Blickrichtung bildet. Zu diesem Zwecke benutzte ich den Woinowschen Spiegelapparat¹, ein perimeterartiges Instrument, welches statt eines Fixationspunktes eine kreisrunde Öffnung (ca. 10 cm im Durchmesser) hatte. Durch diese hindurch konnte ein Auge des Experimentators leicht auf die in beliebiger Entfernung befindlichen Schriftproben blicken, während das Kinn auf der Stütze ruhte. Senkrecht über dem Kopfe befand sich in entsprechender Entfernung eine matte Glühlampe. Durch einen konischen Papierschirm wurde bewirkt, daß diese Lampe ihr Licht nur nach unten auf das Perimeter werfen konnte, das übrige Zimmer aber im Dunkeln blieb. Ein entsprechend geneigter und längs der Gradeinteilung des Perimeters verschieblicher Spiegel reflektierte das von oben kommende Licht ins Auge. So war auf einfache Weise erreicht, daß die scheinbare Entfernung der Lampe und mit ihr die Intensität des blendenden Lichtes während der Änderung des Winkels merklich die gleiche blieb.

Die Ergebnisse dieses Versuches sind in der Kurve (Fig 1)

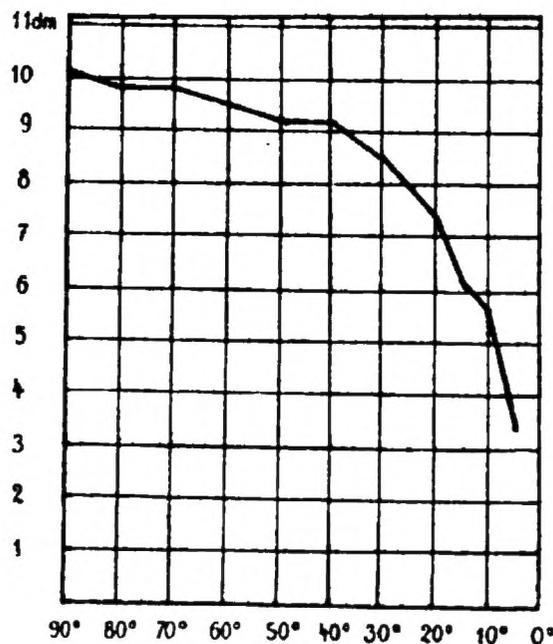


Fig. 1.

¹ AUG. REUSS u. M. WOINOW: *Ophthalmometrische Studien*. Wien 1869. (Verlag Braumüller.)

wiedergegeben. Die Ordinate entspricht der Entfernung der Beleuchtungslampe, die Abszisse der Größe des Winkels, unter welchem das blendende Licht einfiel. Die obere Grenze der Figur (bei 11 dm) zeigt uns zugleich die Entfernung der Lampe an, die notwendig war, um die Schriftproben ohne Blendung sichtbar zu machen. Wenn wir den Verlauf der Kurve beim Winkel von neunzig Graden beginnend verfolgen, so sehen wir, daß der Grad der Blendung mit der Verkleinerung des blendenden Winkels anfangs unmerklich, später und zwar angefangen bei einem Winkel von zirka dreißig Graden rapid zunimmt.¹

C. Ist Adaptationsstörung² die Ursache der Verschlechterung der Sehschärfe?

Blicken wir in einem dunkeln Raum auf eine kleine helle Lichtquelle oder an derselben vorbei, so sehen wir diese von einem Lichtschleier umgeben, der je näher der Lichtquelle um so dichter ist. Diese Zunahme der Dichte gegen das Zentrum hin scheint schätzungsweise mit der in obigem Versuche gefundenen Kurve übereinzustimmen.³ Es ist demnach wohl naheliegend, diesen sichtbaren und rein physikalisch begründeten Lichtschleier zunächst als Ursache der Blendung anzusprechen.

Aber auch wenn wir eine Adaptationsstörung als Ursache der Sehstörung annehmen, muß diese mit der Abnahme des Winkels zunehmen. Je kleiner der Winkel wird, den die blendenden Lichtstrahlen mit der Blickrichtung bilden, desto näher rückt das Lichtbild auf der Retina gegen die Macula lutea, desto zahlreichere und empfindlichere Nervenendigungen werden gereizt und eine desto stärkere Adaptationsstörung müßte wohl eintreten.

¹ DEPÈNE hat gleichfalls Blendungsversuche unter verschiedenem Winkel ausgeführt, jedoch mit dem Unterschiede, daß er durch Änderung der Größe der Schriftproben die Sehschärfe maß. Wenn man aber nur die von ihm bei herabgesetzter Beleuchtung der Schriftproben gefundenen Resultate vergleicht, kann man dieselben Verhältnisse finden, wie sie oben von mir angegeben sind.

² Vgl. Anmerkung S. 165.

³ Besonders gut kann dieser Lichtschleier wahrgenommen und dessen Dichte geschätzt werden, wenn wir die uns interessierenden Teile desselben fixierend die Lichtquelle abwechselnd verlöschen und wieder auf-flammen lassen.

Der oben beschriebene Grundversuch gibt uns also keinen Aufschluss darüber, ob die Sehstörung durch Adaptationsstörung oder durch Verschleierung hervorgerufen wird. Zweckentsprechende Modifikationen desselben aber können uns der Beantwortung dieser Frage näher führen. Ich habe also die Versuche derart angestellt, daß bei gleichbleibenden physikalischen Verhältnissen in dem einen Falle eine Erregung der nervösen Elemente der Netzhaut stattfindet, im anderen Falle aber nicht. Bleibt nun der Grad der Blendung in beiden Fällen der gleiche, so spricht dies für die rein physikalische Erklärung der Blendung. Ist aber die Sehstörung in dem Falle eine stärkere, wo auch die Erregung der Netzhaut stattgefunden hat, muß man zugeben, daß noch ein weiterer Umstand bei der Sehstörung beteiligt ist.

1. Ich liefs das blendende Licht unter einem Winkel von neunzig Graden einmal temporal und einmal nasal einfallen und fand keinen Unterschied im Grade der eintretenden Sehstörung, obwohl nur in dem einen Falle (temporal) lichtempfindliche Netzhaut von den blendenden Strahlen getroffen wurde. Nun beweist aber dieser Versuch noch nicht einwandfrei, daß sich Adaptationsstörung am Hervorrufen der in Rede stehenden Sehstörung nicht beteiligt, da bei dem geringen Einfluß der Blendung durch unter einem Winkel von neunzig Graden einfallendes Licht ein durch Adaptationsstörung eventuell hervorgerufener Unterschied leicht kleiner sein kann als die Fehlergrenzen des Versuches.

2. Ich habe daher das physiologische Skotom der normalen Netzhaut, den blinden Fleck, zu den nächsten Versuchen benutzt. An dem Perimeter habe ich eine entsprechend abgeblendete, matte, fünfkerzige Glühlampe so verschoben, daß ihr Netzhautbild den blinden Fleck passieren mußte. Die Projektionsfläche des blinden Fleckes befindet sich nun nicht weit weg vom Fixationspunkte (15° — 20°) also an einem Orte, von welchem aus die Blendung, wie wir wissen, einen recht bedeutenden Einfluß hat. Aber trotzdem entsprach der Grad der Sehstörung auch in dem Momente, wo man die Lampe überhaupt nicht sehen konnte, sondern nur den Lichtschein, der sie umgab, vollkommen dem Wert anderer lichtempfindlicher ebensoweit von der Macula entfernter Netzhautstellen; die Sehstörung war stärker als bei Beleuchtung des unmittelbar daneben ge-

gelegenen peripheren, und schwächer als bei Beleuchtung des zentralen Bereiches der angrenzenden lichtempfindlichen Netzhaut, vollkommen entsprechend dem Verlaufe der in Fig. 1 abgebildeten Kurve. Das Resultat dieses Versuches beweist, daß die Sehstörung auch dann in vollem Maße entsteht, wenn lichtempfindliche Netzhaut nicht vom blendenden Lichte getroffen wird und wenn demnach eine direkte Adaptationsstörung ausgeschlossen erscheint.

3. Gelingt es aber vielleicht doch unter gewissen Umständen durch Adaptationsstörung eine Herabsetzung der Sehschärfe resp. Unterschiedsempfindlichkeit hervorzurufen? Um dies zu versuchen, trachtete ich die für das Zustandekommen einer Adaptationsstörung denkbar günstigsten Verhältnisse herzustellen. Dies ist offenbar dann der Fall, wenn die blendenden Lichtstrahlen den empfindlichsten Teil der Netzhaut treffen, die Macula lutea. Ich beobachtete also diesmal mit der Peripherie (Fig. 2, Richtung 0x), indem ich mit dem rechten Auge einen

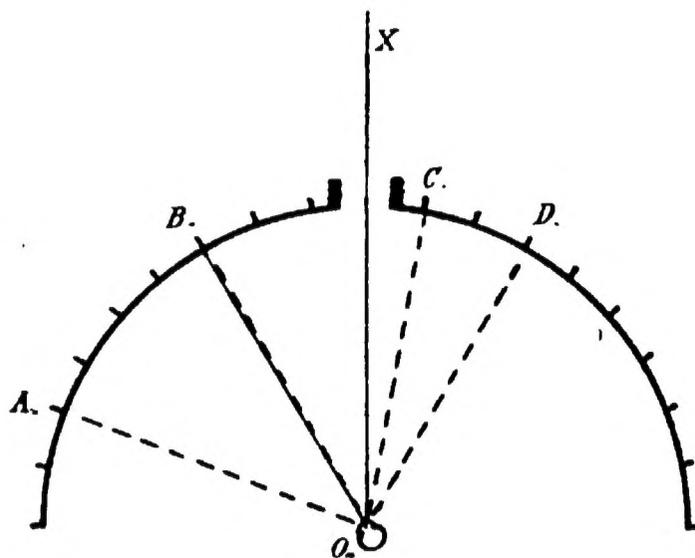


Fig. 2.

Punkt am Perimeter fixierte, der 30 Winkelgrade links von der Mitte sich befand (B). Sonst war die Anordnung die gleiche, wie bei den übrigen Versuchen, nur mußte ich die Schriftproben durch ein größeres Zeichen ersetzen (einen breiten schwarzen Querbalken in dem zu erhellenden Kreise), damit dasselbe mit dem 30° nasal von der Macula gelegenen Teile der Netzhaut noch perzipiert werden konnte. Ich blendete wieder vermittels des geeigneten verschieblichen Spiegels am Perimeter.

Schwieriger noch als bei den anderen Versuchen war es in

diesem Falle den richtigen Zeitpunkt zu erfassen, wann die Beleuchtung des Schirmes den genügenden Grad erreicht hatte. Das Sehobjekt pflegte regelmässig wieder zu verschwinden, wenn die Lichtstärke sich nicht mehr änderte, obwohl es kurz vorher, bei der Zunahme der Lichtfülle durch Näherschieben der Beleuchtungslampe bis zu dem jetzigen Grade, ganz gut kenntlich war. Um nun die Beobachtung mit der Netzhautperipherie, die empfindlicher ist für wachsendes Licht als für bereits bestehendes, zu erleichtern, richtete ich es so ein, daß ich den Strom zur Beleuchtungslampe während des Versuches nach Belieben ein- und ausschalten konnte. Trotzdem bewegten sich die Ungenauigkeiten der Schätzung immer noch zirka innerhalb eines Dezimeters der Lampenentfernung. Aus diesem Grunde sind die Resultate den ungefähren Fehlergrenzen entsprechend in der Tabelle nur durch Grenzwerte angegeben. Jedoch genügt diese geringere Genauigkeit vollkommen für unseren Zweck.

Da die Blickrichtung in diesem Versuche nicht mit der Beobachtungsrichtung zusammenfällt, sondern um 30° von derselben abweicht, so muß die Richtung der blendenden Strahlen einerseits mit der Blickrichtung und andererseits mit der Beobachtungsrichtung verglichen werden. Die beiden durch sie gebildeten Winkel werden jedesmal um 30° differieren. Bei dem Versuche (vgl. Tabelle) wurde nun die Spiegelstellung (*A, B, C, D*) so gewählt, daß in jeder der beiden (mittleren) Kolonnen der Tabelle sich zwei Winkel von gleicher GröÙe befinden, die in der anderen Kolonne einem Minimum und Maximum entsprechen. Als Maß für den Grad der Blendung sind in der letzten Kolonne

Spiegelstellung (vgl. Fig. 2)	Der Winkel, gebildet von den blendenden Lichtstrahlen einerseits		Die Entfernung der Beleuchtungs- lampe vom Papierschirm betrug dm:
	und der Beobachtungsrichtung andererseits	und der Blickrichtung andererseits	
<i>A</i>	70° nasal	40° nasal	10—11
<i>B</i>	30° „	0° „	9—10
<i>C</i>	10° temporal	40° temporal	5,2—5,8
<i>D</i>	30° „	60° „	9—10

die jeweiligen Entfernungen der Beleuchtungslampe angegeben.

Man sieht in der Tabelle, daß diese Hand in Hand geht mit der ersten Kolonne (Beobachtungsrichtung), mit der zweiten Kolonne aber nicht die geringste Übereinstimmung zeigt, woraus folgt: Die Blendung nimmt zu, je mehr das blendende Licht mit dem umgebenden Lichtschleier auf der Netzhaut sich dem beobachteten Bilde nähert; der Grad der Sehstörung ändert sich aber nicht, wenn das blendende Licht sich dem empfindlichsten Teile der Netzhaut der Macula lutea nähert, ja sogar direkt auf dieselbe fällt.

4. Interessant ist auch das Ergebnis des folgenden Versuches. Ich blickte mit dem rechten Auge, so wie bei den vorhergehenden Versuchen auf die eben nur bis zur Kenntlichkeit erhellen Schriftproben, und brachte dann, nachdem die Entfernung der Lampe registriert worden war, vor dem linken Auge in einem Abstand von nur ca. 10 cm eine fünfkerzige matte Glühlampe zum Leuchten, so zwar daß das Bild derselben direkt auf die Macula lutea fallen mußte. Eine in der Medianebene des Kopfes aufgestellte Zwischenwand verhinderte, daß von dieser Lampe Licht ins rechte Auge gelangen konnte. In dem Momente, wenn die Lampe zu leuchten begann, hatte ich das Gefühl heftigster Blendung, die kurz vorher noch deutlich sichtbaren Schriftzeichen verschwanden sofort. Dadurch fühlte ich mich veranlaßt, dieselben durch Näherschieben der Lampe stärker zu beleuchten, und bekam das unerwartete Resultat, daß schon eine im Verhältnis zu dem hohen Grade der Blendung minimale Mehrbeleuchtung genügte, um die Schriftzeichen wieder kenntlich zu machen (von 10,3 auf 9,3 dm). Freilich waren diese dann nicht fortwährend in gleicher Deutlichkeit zu sehen. Nach Art des bekannten Wettstreites der Sehfelder verschwanden sie in regelmäfsigem Wechsel immer auf kurze Zeit vollkommen, um dann wieder aufzutauchen. (Gelangte von der Blendungslampe durch eine Verschiebung des Schirmes nur ein geringer Bruchteil des Lichtes in das rechte, beobachtende Auge, so war ein Erkennen der Schriftzeichen absolut ausgeschlossen.)

Später, bei Besprechung des Einflusses der Iris werde ich noch auf diesen Versuch zu sprechen kommen. Hier sei nur bemerkt, daß ich den Versuch mit der Modifikation wiederholte, daß ich das rechte Auge mit einer kleinen Blende (von ca. 1 mm Durchmesser) armierte und so die Wirkung der Pupillarreaktion

ausschaltete. In diesem Falle war ein Näherschieben der Lampe nach der Blendung überhaupt nicht notwendig, es genügte die gleiche Beleuchtung wie vor der Blendung um die Schriftproben zu erkennen.

Ich steigerte den Grad der Blendung des linken Auges bis an die Grenzen der Erträglichkeit. Indem ich die Lampe in eine konische innen weisse, ausen schwarze Papierdüte wickelte, deren Öffnung gerade an den Orbitalrand passend ringsum lichtdicht abschloß und deren inneres Weifs sich über das ganze Gesichtsfeld verbreitete, konnte ich eine hochgradige Blendung erzielen, die schon fast Schmerz bereitete, so daß ich es nicht für ratsam hielt, die Versuche in die Länge zu ziehen. Trotzdem blieben die Resultate die gleichen wie beim früheren Versuch.

Dieser Versuch lehrt uns unter anderem, daß das unangenehme Gefühl der Blendung und die durch Blendung hervorgerufene Sehstörung vollkommen verschiedene Begriffe sind und keineswegs gleichzeitig in gleichem Grade vorhanden sein müssen.

Wir haben gesehen, daß bei den in diesem Abschnitt geschilderten Versuchen eine Herabsetzung der Sehleistung durch Blendung nur dann zu konstatieren war, wenn die physikalischen Verhältnisse im dioptrischen Apparate des Auges in diesem Sinne wirkten. Diese sollen nun in den folgenden Abschnitten im Detail besprochen werden.

D. Verschleierung.

Die Verschleierung ist die weitaus wichtigste Ursache der Blendung, denn Versuche zeigen, daß die Blendung auch am atropinisierten oder mit Blenden armiertem Auge stattfindet, was beides eine Beteiligung der Pupillarreaktion (welche im folgenden Abschnitte genauer besprochen werden wird) unmöglich macht.

Schon oben wurde kurz erwähnt, was alles möglicherweise eine solche diffuse Verteilung des Lichtes verursachen kann, wie sie in der Verschleierung tatsächlich vorliegt. In folgendem sollen nun die einzelnen Punkte des Genaueren zur Sprache kommen, und beurteilt werden, in welchem Grade sie sich an der Sehstörung beteiligen.

1. Das von der Netzhaut zerstreute Licht. Es ist wohl klar, daß die Netzhaut das Licht im allgemeinen nicht so wie ein Spiegel reflektiert, sondern, daß die grell beleuchteten Teile derselben nach allen Seiten hin gleichmäÙsig Licht ausstrahlend selbst zu einer Lichtquelle werden, so wie etwa der von der Sonne beschienene Mond. Daran zu zweifeln ist nicht möglich, wenn man das Sichtbarwerden der PURKINJESCHEN Aderfigur auf rotem Grunde bei der Bewegung einer seitlich vom Auge befindlichen Lichtquelle bedenkt. Auch wäre es unmöglich beim Augenspiegeln ein Bild der Netzhaut zu bekommen, wenn diese nur nach Art eines Spiegels das Licht reflektieren würde.¹ Das von der Netzhaut zerstreute Licht wird sich also im Innern des Auges verteilen und die ganze übrige Netzhaut beleuchten, es ist nun die Frage zu beantworten, wie diese Verteilung stattfindet, ob die ganze Netzhaut gleichmäÙsig oder an bestimmten Stellen stärker, an anderen weniger stark beleuchtet wird. Um dies zu untersuchen, wollen wir eine kleine Rechnung machen.

Die Gesetze, die bei dieser Rechnung Anwendung finden, sind: Die Beleuchtungsintensität der Flächeneinheit einer beleuchteten Fläche ist proportional dem Sinus des von ihr mit der Richtung der Beleuchtungsstrahlen gebildeten Winkels und umgekehrt proportional dem Quadrate der Entfernung der Lichtquelle. Und ebenso spendet eine leuchtende Fläche um so weniger Licht, je geneigter sie dem zu erhellenden Gegenstand gegenüberliegt, ebenfalls proportional dem Sinus des Neigungswinkels.

Voraussetzung: Im Innern einer Hohlkugel mit matter nicht spiegelnder Wand wird eine kleinste Fläche durch Beleuchtung zu einer Lichtquelle. (Diese kleinste Fläche befinde sich in der Fig. 3 im Punkte A .)

Frage: Wie stark wird der beliebig gewählte Punkt B beleuchtet sein?

Die Intensität der Beleuchtung desselben ($= J$) wird abhängig sein von der Lichtmenge, die von A in der Richtung des Radius geworfen wird (L), von der Entfernung (AB) und von den Winkeln α und β .

¹ Vgl. O. BECKER: Über Wahrnehmung eines Reflexbildes im eigenen Auge. *Wiener Med. Wochenschr.* 1860, 42, 43.

$$J = \frac{L \sin \alpha \sin \beta}{(AB)^2}$$

$$AB = AC + BC = r \sin \delta + r \sin \gamma$$

$$J = \frac{L \sin \alpha \sin \beta}{r^2 (\sin \delta + \sin \gamma)^2}$$

und da $\alpha = \beta = \gamma = \delta$

$$J = \frac{L \sin^2 \alpha}{4 r^2 \sin^2 \alpha} = \frac{L}{4 r^2}$$

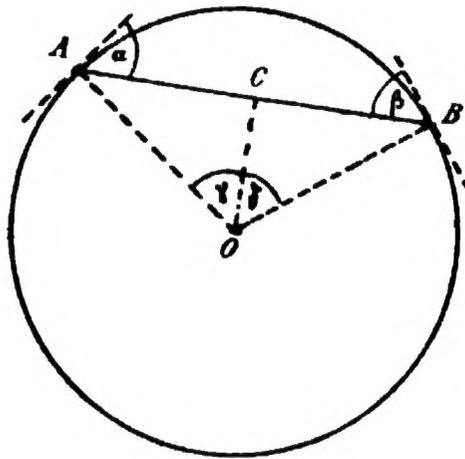


Fig. 3.

Die Intensität der Beleuchtung ist also unabhängig von den Winkeln, sie verteilt sich gleichmäÙsig in der ganzen Hohlkugel.

Wenn diese Verhältnisse auch nicht mit mathematischer Genauigkeit für das Auge stimmen, so bestehen sie doch sicher im großen und ganzen zu Recht.

Werfen wir nun einen Blick auf die durch den Grundversuch gefundene in Fig. 1 abgebildete Kurve, so sehen wir sofort, daß diese nicht der Verteilung entspricht, wie sie für das von der Netzhaut zerstreute Licht berechnet wurde, insbesondere das beim Winkel von 30° beginnende rapide Abfallen derselben. Wir müssen allerdings zugeben, daß auch die durch das reflektirte Licht hervorgerufene Blendung mit der Abnahme des Blendungswinkels zunehmen mußte, da ja schief durch die Pupille fallendes Licht eine entsprechend kleinere Öffnung findet als das senkrecht auffallende. Die durch diese Verhältnisse bedingte Kurve müÙte aber eine ganz andere Form zeigen, nicht nach oben, sondern nach unten konvex sein.

Dieselben Gesetze der Verteilung gelten für das die Sklera durchdringende Licht.

Diese beiden Umstände werden gewifs ihren Teil zur Sehstörung beitragen, insbesondere wenn das blendende Licht sehr hell ist, geben jedoch keine Erklärung für die bedeutend heftigere Sehstörung ab, die entsteht, wenn der Einfallswinkel ein kleiner ist.

2. Wir gehen also weiters daran, die brechenden Medien des Auges auf ihre Klarheit zu untersuchen und wollen sehen, ob sich hierbei auch ein Grund für die Sehstörung durch Blendung auffinden läfst.

Eine Methode grössere geformte Elemente im Auge zu sehen, haben wir in der zur Erzeugung der entoptischen Erscheinungen verwendeten: von einem Lichtpunkt ausgehende Strahlen werden in Form eines Zerstreungskreises auf die Netzhaut geworfen. Dadurch wird es möglich auch noch von solchen Partikelchen Schatten zu entwerfen, die weiter entfernt sind von der Netzhaut. Hingegen kann man die unmittelbar vor der Netzhaut gelegenen zur Anschauung bringen, wenn man nur gegen eine gleichmäfsig erleuchtete Wand oder gegen den Himmel blickt (*mouches volantes*).

Der Versuch wird in der Regel so ausgeführt, dafs man das durch eine Linse entworfene Lichtbild einer Lichtquelle in den ersten Brennpunkt des Auges bringt und hier die Strahlen eine kleine Lochblende passieren läfst. Diese Methode hat den Vorteil, dafs die Schatten alle in der natürlichen Gröfse der Objekte auf die Netzhaut fallen, unabhängig von der Entfernung derselben. Jedoch gelingt es nicht leicht, sich über die Lage der einzelnen Körperchen eine richtige Vorstellung zu machen. Um diesen Zweck zu erreichen, habe ich die Methode derart modifiziert, dafs ich den Brennpunkt der Glaslinse in das Auge selbst verlegte, indem ich unter Weglassung der Lochblende die Linse von kurzer Brennweite der Hornhaut je nach Bedarf mehr oder weniger näherte. Bei diesem Versuche war es notwendig, eine möglichst kleine oder recht weit entfernte Lichtquelle zu verwenden. Sehr gut eignete sich hierzu das von einem stark gekrümmten Konvex- oder Konkavspiegel entworfene Bild der Sonne. (Eine Auerlampe z. B. mußte in der Entfernung von wenigstens sechs Metern aufgestellt werden, damit die Schatten

noch scharf wurden.) Als Linsen verwendete ich mikroskopische Okulare (ohne Kollimatorlinse).

Es gelingt dann durch parallaktische Verschiebung leicht zu konstatieren, welche von den schattenwerfenden Teilchen vor und welche hinter dem Brennpunkt der Glaslinse (oder richtiger: dem Bilde der Lichtquelle) liegen, und durch Vergleich mit Gegenständen, deren Lage uns bekannt ist (z. B. dem Rande der Iris), über die wirkliche Lage der Partikelchen Aufschluss zu erhalten. Die Schatten von Partikelchen, die in der Lichtbildenebene liegen, verschwinden vollkommen. Auf diese Art gelingt es bestimmte Teile ganz von der Schattenbildung auszuschließen, z. B. die von der Hornhaut entworfenen Schatten. Es treten dann die anderen Schatten um so deutlicher hervor. Schatten, die nicht auf die Macula lutea fallen, kann man leicht durch eine kleine Verschiebung der Linse dorthin bringen und so die Beobachtung möglichst erleichtern.

Man sieht dann leicht, daß ähnliche Partikelchen, wie jene, welche die bekannten mouches volantes erzeugen, auch im ganzen Glaskörper in verschiedenen Tiefen vorhanden sind nach vorne bis zur hinteren Linsenfläche. Dort wieder sieht man strangförmige Gebilde, die mehr weniger gewellt dem Aussehen nach isolierten Bindegewebsfasern in einem mikroskopischen Zupfpräparate gleichen und bei Blickbewegungen Form und Lage verändern, um nach kurzer Zeit wieder zum früheren Platze zurückzukehren. Sie sind als Falten einer Membran gedeutet worden. In der Linse selbst ist nichts zu finden. Erst wieder die vordere Hornhautfläche entwirft dichtere Schatten, die sich durch ihre Veränderlichkeit beim Lidschlag sowie durch die scharf kontrastierende Zeichnung auszeichnen, welche letztere offenbar dadurch hervorgerufen wird, daß dort schon geringere Unebenheiten die Lichtstrahlen, die direkt aus der Luft auffallen, stärker abzulenken imstande sind als im Inneren des Auges, wo doch kein so erheblicher Unterschied der Brechungsindizes besteht. Eine genaue Beschreibung zahlreicher verschiedener Formen von entoptischen Schatten normaler Augen findet man in der physiologischen Optik von HELMHOLTZ.

Es handelt sich nun darum, zu beurteilen, ob die Partikelchen, welche die entoptischen Schatten entwerfen, imstande sein können auf der Netzhaut einen solchen das Lichtbild umgebenden Lichtschleier zu erzeugen, wie wir ihn sehen, wenn wir in einem

dunkeln Raum gegen eine kleine Lichtquelle blicken. Dieser Lichtschleier ist charakterisiert durch eine Abnahme der Dichte vom Zentrum gegen die Peripherie, durch vollkommen regelmäßige konzentrische Anordnung und durch Andeutung von farbigen (ebenfalls konzentrischen) Ringen, die wohl als Beugungserscheinung aufzufassen sind. Das Zentrum des Lichtschleiers wird gebildet durch die Lichtquelle, umgeben von der von HELMHOLTZ beschriebenen durch den normalen irregulären Astigmatismus der Kristalllinse erzeugten Strahlenfigur.

Wenn nun auch zugegeben werden muß, daß jedes der im Glaskörper befindlichen Partikelchen einen je nach der Entfernung verschieden großen Zerstreungskreis entwirft, und daß diese Zerstreungskreise mit dem Mittelpunkt sich decken und so ein konzentrisch angeordneter gegen das Zentrum hin an Dichte zunehmender Lichtschleier entstehen könnte, so ist doch sicher, daß gerade die dichtesten, von der vorderen Hornhautwand ausgehenden Schatten dafür sprechen, daß deren Erreger unregelmäßige und mit jedem Lidschlag wechselnde Zerstreungskreise oder besser Zerstreungsfiguren erzeugen müssen, was der Charakteristik des oben beschriebenen Lichtschleiers widerspricht. Auch eine Erklärung für die farbigen Ringe läßt sich durch die beschriebene Trübung der Medien nicht geben.

3. Die konzentrische Anordnung, die farbigen Ringe und die Unveränderlichkeit des Lichtschleiers lassen vermuten, daß seine Entstehung in der Kristalllinse ihren Grund findet. Durch obige Methode (zur Erzeugung der entoptischen Schatten) konnte ich für mein Auge nichts in derselben nachweisen, wohl aber gelang es mir auf andere Art, die Ursache der Entstehung des Lichtschleiers zu finden.

Ich beobachtete mit homotropinisiertem Auge den beschriebenen Lichtschleier, während ich vor der weiten Pupille eine Blende (von 1 mm Durchmesser) in verschiedener Richtung langsam verschob, so daß die Lichtstrahlen einmal nur die zentralen Teile der optischen Medien also auch der Kristalllinse zu passieren hatten, so etwa, als ob die Pupille selbst so enge gewesen wäre, ein andermal aber nur bestimmte Partien der Linsenperipherie den Lichtstrahlen als Weg dienten. Im ersten Falle (bei zentrierter Blende) war genau dasselbe zu sehen wie ohne Blende, nur war selbstverständlich der Lichtschleier

entsprechend lichtschwächer. Im zweiten Falle aber (bei exzentrischer Blende) zeigte der Lichtschleier verschiedene Formen je nach der Lage der Blende.

Verschob ich die Blende in horizontaler Richtung, vom Zentrum gegen die Peripherie, so blieb schliesslich von dem Lichtschleier nur mehr ein vertikales durch den Lichtpunkt gehendes Band über. Die Übergangsformen, die der Lichtschleier während der Mittelstellungen der Blende zeigte, lassen sich vergleichen mit zwei entfaltetten Fächern, die in der Horizontalen aneinander grenzend zusammen einen Kreis bilden, und welche beide zugleich symmetrisch zusammengeschlagen werden.

Verschob ich die Blende in vertikaler Richtung nach oben oder unten, so zeigte sich dasselbe Bild nur um neunzig Grade gedreht: bei Randstellung der Blende blieb ein horizontales Lichtband. Bewege ich die Blende längs der Peripherie der Linse im Kreise herum, so drehte sich das bandförmige Lichtbündel um die Lichtquelle und nahm immer die Richtung einer Tangente des von der Blende um die optische Achse beschriebenen Kreises ein, wenn man sich dieselbe in dem Punkte konstruiert denkt, in welchem sich gerade die Blende befand.

An den Lichtbündeln lassen sich dieselben Details erkennen wie an dem beschriebenen Lichtschleier, deutlichere Anordnung der Farben und dieselben Helligkeitsverhältnisse, wenn wir von der HELMHOLZschen Strahlenfigur absehen, die nicht die Richtung der Tangente, sondern des Radius bei Randstellung der Blende einnimmt. Es ist somit kein Zweifel, dass sie mit diesem identisch sind. Von anderen Lichtbündeln, wie sie entstehen durch Reflexion an der Blende selbst, oder durch den konkaven Tränenrand an den Lidkanten wurde selbstverständlich bei diesem Versuche abgesehen. (Dass obige sich drehende Lichtbündel nicht von der Blende herrühren können, ist schon deshalb leicht einzusehen, weil die Blende wohl kreisförmig verschoben, aber nicht um ihre eigene Achse gedreht wurde. Durch letztere Bewegung könnte natürlich unter Umständen ein ähnliches Phänomen hervorgerufen werden.)

Wenn wir den Verlauf der Linsenfasern berücksichtigen, die an der Linsenperipherie radiär angeordnet sind, gegen das Zentrum aber immer mehr von dieser Richtung abweichend sich überkreuzen, gelingt es unschwer aus den Resultaten dieses Ver-

suches den Schluss zu ziehen¹: Der beschriebene Lichtschleier entsteht vorzüglich durch Beugung des Lichtes an den Linsenfäsern und die Hauptursache der Sehstörung durch Blendung liegt im faserigen Bau der Kristallinse.

4. Kam bei diesem Versuch die Blende zufällig vor ein an der Hornhaut befindliches Schleimflöckchen oder sonstiges Partikelchen zu liegen, so zeigte sich sofort eine auffallende Veränderung. Die regelmässige Form des Lichtschleiers wurde ganz oder teilweise überdeckt von einem unregelmässig begrenzten und schattierten Zerstreuungskreise, der auch sonst ein ganz anderes Aussehen hatte, mehr glänzend als schleierartig. Durch einen Lidschlag gelang es in der Regel diesen zu entfernen und das alte Bild wieder zu bekommen.

E. Blendung und Pupille.

Zwei Eigenschaften der Pupille müssen berücksichtigt werden, wenn wir ihren Einfluss auf die Sehstörung durch blendendes Licht untersuchen wollen, ihre absolute Grösse und ihre Reaktion.

Durch Mydriatika und Miotika, sowie durch Vorsetzen von künstlichen Blenden können wir die Reaktion der Pupille respektive deren Wirkung aufheben sowie ihre absolute Grösse ändern. Ich habe wiederholt Versuche in dieser Richtung angestellt und die Resultate derselben waren: die Herabsetzung der Sehschärfe ist *ceteris paribus* um so geringer, je kleiner das absolute Mass der Pupille resp. der Blende ist, und scheint sich nicht zu ändern, ob die Pupille nun reagiert oder nicht.

Diese Versuchsergebnisse scheinen im Widerspruch zu stehen mit dem, was im früheren Abschnitte (A) gesagt wurde, nämlich dass in der Reaktion der Iris eine Ursache der Sehstörung durch Blendung liegen kann. Dass sie hierin liegen kann, ist mit Rücksicht auf die Lichtmenge, welche zur Bilderzeugung verwendet ist, einleuchtend; ob aber in der Pupillenverengerung tatsächlich eine Ursache für die Verschlechterung der Sehschärfe liegt, wird jetzt, nachdem wir die Bedeutung des in der Linse zerstreuten Lichtes für dieselbe kennen gelernt haben, wieder zweifelhaft, da ja auch dieses zerstreute Licht an Intensität entsprechend der Verengerung der Iris verlieren muss.

¹ Vgl. VERDET-EXNER: Vorlesungen über die Wellentheorie des Lichtes.

1. Nur eine von den gemachten Versuchsreihen sei hier in Form einer Tabelle wiedergegeben, diejenige, die mir am besten geeignet erscheint, den Einfluss der Pupille auf die Blendung erkennen zu lassen. Der Grad der Blendung wurde in diesem Versuche (durch Wegnahme des Pappendeckelgehäuses mit dem transparenten Kreisring vor den Blendungslampen) erhöht, das Licht der Blendungslampen gelangte ungedämpft ins Auge. Die Pupille war durch Homatropin weit und starr gemacht, und es wurden künstliche Blenden von bekannter Gröfse verwendet, welche ich mir teils durch Ausschneiden aus schwarzem Papier mit einer eigens zu diesem Zwecke messerartig zugeschliffenen Reifsfeder im Zirkel herstellte, teils (Durchmesser 1—3 mm) mit Spiralbohrern entsprechender Gröfse in dünnem Messingblech bohrte.

Der Einfachheit wegen sei es gestattet, in folgendem für größtmögliche Entfernung der Beleuchtungslampe, die uns noch erlaubt die Schriftproben eben zu erkennen, ohne Blendung kurzweg M zu sagen. N sei der Ausdruck für die Entfernung der Lampe mit Blendung und $\frac{M}{N}$ das Maß für die Herabsetzung der Sehleistung.

Blenden- durchmesser in mm	M	$\frac{3 M}{7}$	N	$\frac{M}{N}$
6	13,6	5,83	2,7	5,0
5	—	—	2,7	—
4	9,8	4,20	2,7	3,7
3	7,0	3,00	2,7	3,0
2	4,7	2,01	2,4	2,0
1	2,4	1,03	1,5	1,6

Wir sehen nun in der Tabelle, daß M mit dem Kleinerwerden des Blendendurchmessers ebenfalls kleiner gemacht werden mußte und zwar in dem gleichen Verhältnis wie der Blendendurchmesser, wie es auch vorauszusehen war. Deutlicher kommt diese Proportionalität zum Ausdrucke, wenn man, wie in Kol. 3 geschehen ist, den Wert mit $\frac{3}{7}$ multipliziert. Daß $\frac{M}{N}$ ebenfalls mit dem Blendendurchmesser abnimmt, darf uns nicht wundern,

da, je enger die Pupille, desto weniger blendendes Licht ins Auge gelangt. Auf N wirkt der Durchmesser der Blende in doppelter Art und in verschiedener Richtung, indem zugleich das bilderzeugende als auch das bildverschleiernde Licht durch die Verkleinerung der wirksamen Öffnung gedämpft wird. Der Versuch zeigte, daß trotz des Vorsetzens kleinerer Blenden eine Mehrbeleuchtung der Schriftproben nicht nötig war, sondern dieselben immer noch den zur Kenntlichkeit eben nötigen Grad von Helligkeit besaßen, — bis zu einer gewissen Grenze (in diesem Falle bei 3 mm). Sinkt der Durchmesser der Blende aber unter diese Grenze, so ist es wieder notwendig, die Beleuchtungslampe zu nähern, um die Schriftproben erkennen zu können. Diese Grenze liegt natürlich nicht immer bei 3 mm, sowie in dieser Versuchsreihe, sondern wird abhängig sein von der Stärke der Blendung. Je kleiner $\frac{M}{N}$ im allgemeinen, desto

höher rückt die Grenze hinauf, und wird $\frac{M}{N}$ gleich eins, d. h. ist die Blendung gleich null, so wird M gleich N , es liegt die Grenze bei dem Blendendurchmesser, der dem wirklichen Durchmesser der Pupille entspricht (in unserem Falle größer als sechs).

Diese Verhältnisse geben uns Gelegenheit zu erklären, warum, wie bereits erwähnt wurde, eine Herabsetzung der Sehschärfe durch die Reaktion der Pupille nicht stattfand. Nehmen wir in unserem speziellen Fall (Tabelle) an, daß die Pupillenweite vor und während der Blendung 6 mm beträgt (Homatropin) so erhalten wir für $\frac{M}{N} = \frac{13,6}{2,7} = 5,0$. Verengt sich am nicht atropinisierten Auge die Pupille während der Blendung, so ändert sich N nicht, wenn wir für die Reaktion der Pupille auch einen Spielraum bis zu 3 mm freilassen, es bleibt demnach auch jetzt $\frac{M}{N} = 5,0$. Eine Änderung im Grade der Herabsetzung der Sehschärfe fände also durch die Reaktion der Pupille nicht statt.

Je geringer nun die Lichtstärke des Blendungslichtes ist, ein desto kleinerer Spielraum kann für die wirkungslose Reaktion der Pupille offen gelassen werden, es wird aber auch die Reaktion selbst mit der Abnahme der Lichtstärke eine geringere werden müssen, so daß es wohl gestattet sein mag, diese von einem speziellen Fall abgeleitete Erklärung zu verallgemeinern.

2. Der im Abschnitt C (4) geschilderte Versuch soll nun mit Rücksicht auf die Pupille einer genaueren Besprechung unterzogen werden. Das beobachtende Auge wurde in diesem Falle vom blendenden Licht nicht getroffen, die Blendung beschränkte sich auf das zweite Auge. Es mußte daher die Reaktion der Pupille voll und eindeutig im Sinne einer Herabsetzung der Sehschärfe bei schwächst erleuchteten Schriftproben zur Geltung kommen, vorausgesetzt, daß die Einstellung des Auges eine richtige war, und man eine Besserung der Sehschärfe durch Verkleinerung der Zerstreuungskreise ausschließen durfte. Das Resultat dieses Versuches war ein überraschendes, $\frac{M}{N}$ war gleich $\frac{10,3}{9,3}$. Ich hätte von der Reaktion der Iris allein eine bedeutend stärkere Herabsetzung der Sehschärfe erwartet, indem die Versuchsverhältnisse eine ziemlich hochgradige Verengung der Pupille voraussetzen ließen.

Beobachtungen der Pupille des geblendeten¹ Auges (das andere Auge war im Dunkeln, so daß die Iris nicht gesehen werden konnte) zeigten jedoch, daß der Durchmesser derselben in ziemlich weiten Grenzen schwankte (zwischen ca. 3—5 mm und mehr). Sah man nun ab von kleineren, unstäten, oft zitternden Bewegungen der Iris und beachtete man bloß die energischen Verengungen und Erweiterungen der Pupille, so konnte man wahrnehmen, daß ein Zusammenhang zwischen diesen Bewegungen und dem Wettstreit der Sehfelder derart bestand, daß in der Regel das Sehen der schwach erhellten Schriftzeichen zusammenfiel mit der weiten Pupille, das Sehen der Blendungslampe aber mit der engen Pupille.

Dies gibt uns schon eine Erklärung für die Ergebnisse des Versuches. In dem Momente, da die Schriftproben erkannt wurden, war eben der Durchmesser der Pupille ein verhältnismäßig großer, so daß er keine hochgradige Abschwächung der Lichtstärke bedingen mußte.

Daß diese Schwankungen der Pupillenweite nicht etwa durch

¹ Wir müssen wohl annehmen, daß die Pupille des anderen nicht belichteten Auges entweder gleich oder sogar noch größer war. Eine Pupillendifferenz in diesem Sinne wird beschrieben von ELSCHNIG (die Funktionsprüfungen des Auges 1896, S. 119), BACH (*Zeitschr. f. Nervenheilkunde* 17, S. 456) und A. PICK (*Neurolog. Zentralblatt* 19 (20), S. 930).

Akkommodation oder durch Einstellen der Makula auf hellere und dunklere Partien der Blendungslampe verursacht wurde, beweist eine Modifikation des Versuches derart, daß die beiden Sehobjekte, für das linke Auge eine hell erleuchtete Scheibe aus mattem Glas, für das rechte ein auf Papier gezeichnetes sehr schwach beleuchtetes Gitter, durch eine Linsenprismenkombination (Stereoskop) in den künstlich genäherten Fernpunkt der Augen gebracht wurde. Auch hier zeigte sich das gleiche Verhältnis.

Die Pupillen mehrerer Personen, die sich diesem Versuche unterzogen, ließen alle diese Schwankungen erkennen, die Ausdehnung und Schnelligkeit derselben allerdings zeigte merkliche Unterschiede. Mitunter stellte ich den Versuch derart an, daß ich aus der Pupillenweite der beobachtenden Person zu erraten suchte, welches von den beiden Gesichtsfeldern von ihr eben wahrgenommen wurde. In der Mehrzahl der Fälle stimmten meine Angaben mit den Wahrnehmungen der Versuchsperson gut überein.

Ich versuchte diese Übereinstimmung auch graphisch darzustellen. An einem Kymographion schrieben zwei senkrecht übereinanderstehende MAREYSche Trommeln unabhängig voneinander. Die Änderung des Luftdruckes in den Trommeln wurde hervorgerufen durch Verschieben des Stempels von PRAVAZschen Spritzen, deren Öffnung (natürlich ohne Nadel) durch Gummischläuche mit den Trommeln verbunden waren. Durch die eine registrierte der Beobachter, welches Gesichtsfeld er eben wahrnahm, mittels der zweiten verzeichnete ich schätzungsweise die Weite der Pupille, wobei kleinere Schwankungen derselben unberücksichtigt gelassen werden mußten und nur das Maximum der Erweiterung und Verengung festgehalten wurde.

Dies mit freiem Auge richtig zu erkennen, war mit großen Schwierigkeiten verbunden, und ein Übereinstimmen der Berge und Täler in den zwei resultierenden Kurven fand nur in höchst mangelhafter Weise statt. Eine bessere Übereinstimmung, so wie sie ungefähr den Resultaten, die auf dem Wege der sprachlichen Mitteilung gefunden wurden, aber natürlich nicht verzeichnet werden konnten, erreichte ich erst später, als ich die Beobachtung der Pupillenschwankungen durch ein HELMHOLTZsches Ophthalmometer erleichterte. Dieses stellte ich so ein, daß die Pupille in Form zweier Kreise sichtbar war, die sich je nach ihrer Größe schnitten, berührten oder auch nicht

mehr berührten. Erst wenn das Ophthalmometer so eingestellt war, daß bei Mittelwerten die Pupillenkreise sich eben berührten, begann die Registrierung. Auch bei dieser Anordnung gelang der Versuch nicht gleich das erste Mal, weil die Pupille des Beobachtenden beim Beginn der Registrierung offenbar infolge Sympathikusreizung durch die gesteigerte Aufmerksamkeit sich bedeutend erweiterte und die Schwankungen in anderen Grenzen stattfand als früher. Bei der Wiederholung des Versuches wurde hierauf Rücksicht genommen und es resultierte das in Fig. 4

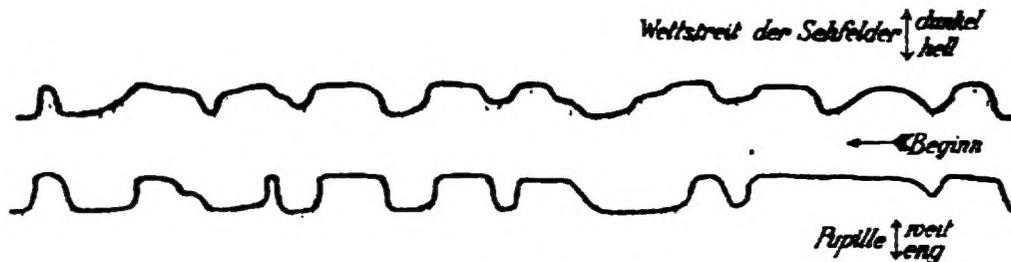


Fig. 4.

verkleinert wiedergegebene Kurvenpaar, dem eine Übereinstimmung entschieden nicht abzusprechen ist.¹ Ein Zusammenhang zwischen dem Wettstreit der Sehfelder und der Pupillenweite fand gewiß statt. Was von beiden das primäre war, bleibt dahingestellt. Man könnte die Schwankungen wohl als unwillkürliche Aufmerksamkeitsreflexe² auffassen, es zeigt sich jedoch, daß auch bei Schluß des „dunklen“ Auges mindestens ähnliche, wenn nicht die gleichen Schwankungen der Pupille vorhanden sind.

3. Im Laufe dieses Abschnittes habe ich behauptet, daß das Kleinerwerden von $\frac{M}{N}$ mit der Abnahme des Pupillen- oder Blendendurchmessers, wie es in der Tabelle (s. S. 180) zu sehen ist, daher rührt, daß durch die engere Pupille weniger schädliches Licht eindringen kann. Ein anderer Umstand jedoch könnte bei diesen Verhältnissen auch noch in Betracht kommen, der in gleichem Sinne wirken mußte. Ist nämlich die Pupille weit, so dienen nicht nur die in der nächsten Nähe der optischen Achse gelegenen Partien der brechenden Medien den Lichtstrahlen als Weg, sondern auch weiter entfernte. Es wäre denkbar, daß

¹ Allerdings ist dieses Kurvenpaar von vielen das best übereinstimmende.

² HAAB: Korrespondenzblatt für Schweizer Ärzte 1886. S. 153. PILTZ: Über Aufmerksamkeitsreflexe der Pupille. — Weitere Mitteilungen über Vorstellungsreflexe der Pupille *Neurol. Zentralblatt* 18, S. 14 und 496. Über Vorstellungsreflexe bei Blinden 19, S. 722.

hierdurch günstigere Verhältnisse für die Zerstreuung des Lichtes zustande kämen, und so die Verschleierung eine stärkere würde.

Eine Versuchsanordnung, die gestattet den Durchmesser der Blende größer und kleiner zu machen, ohne daß sich hierbei die ins Auge fallende Lichtmenge ändert, sollte hierüber Aufschluß geben. Es wäre wohl denkbar, daß man das blendende Licht beim Verkleinern der Pupille in solchem Grade verstärken könnte, daß die Lichtstärke des Bildes auf der Netzhaut die gleiche bleibt. Technische Schwierigkeiten ließen mich hiervon abkommen. Einfacher liefs sich dasselbe Endziel auf folgende Art erreichen. Die Lichtstärke der blendenden Lampe wurde nicht geändert, vor das beobachtende Auge aber setzte ich nicht nur die Blende von bekanntem Durchmesser, sondern auch eine rasch rotierende Scheibe mit Sektorenausschnitten, deren Winkel geändert werden konnten. Diese Scheibe war an dem zur Farbmischung verwendeten Apparat angebracht und wurde mittels dieses in eine derart rasche Rotation versetzt, daß beim Durchblicken kein Zitterlicht zu sehen war, sondern nur eine dem Winkel der Ausschnitte entsprechende Abschwächung des Lichtes resultierte. Ich kombinierte nun einerseits eine Blende von 3 mm Durchmesser mit einem Sektorenausschnitt von 5 Graden und andererseits eine Blende von 1 mm Durchmesser mit einem Sektorenausschnitt von 45 Graden, und erhielt so trotz der verschiedenen Blendengröße die gleiche Lichtstärke des Netzhautbildes. Sowohl die Blendungslampen, wie auch die Beleuchtungslampe mußten für diesen Versuch aus leicht einsehbaren Gründen lichtstärker als bei anderen gewählt werden.

Die Resultate waren für $\frac{M}{N}$ bei Blende 3 mm $\frac{6,1}{3,9} = 1,5$ und bei Blende 1 mm $\frac{6,7}{3,8} = 1,7$. Man sieht, daß die Unterschiede, die sich in der Tabelle (S. 180) gezeigt hatten (3,0 : 1,6) in diesem Versuche weggefallen sind (1,5 : 1,7), daß also das Kleinerwerden von $\frac{M}{N}$ bei Abnahme des Pupillendurchmessers nur aus dem oben erwähnten Grund stattfindet.

F. Versuchsergebnisse.

Das Ergebnis der Untersuchungen kann man kurz wie folgt zusammenfassen :

Die Herabsetzung der Sehschärfe durch Blendung konnte bei meinen Versuchen immer nur dann gefunden werden, wenn eine solche Herabsetzung auf Grund einer rein physikalischen Veränderung des Bildes, derart, daß dessen Wahrnehmung nach den psychophysischen Gesetzen geschädigt war, erwartet werden mußte. Der Pupillarreaktion konnte nur in dem einen Falle eine Bedeutung zugeschrieben werden, wenn die Blendung nur das andere, nicht beobachtende Auge traf.

Der wichtigste Faktor war die Überdeckung des auf der Netzhaut entstandenen Bildes durch einen diffusen Lichtschleier, und zwar war dieser Lichtschleier vornehmlich verursacht:

- a) durch Zerstreung des blendenden Lichtes an der Netzhaut,
- b) durch das die Sklera durchdringende Licht,
- c) durch den faserigen Bau der Kristalllinse,
- d) durch Schleimflöckchen u. a. an der vorderen Hornhautfläche,
- e) durch in der Luft suspendierte Partikelchen.

ad a, b, c: Je nach der Gröfse des Winkels, den die blendenden Strahlen mit den bilderzeugenden bilden, kommen die einzelnen Punkte in verschiedenem Grade zur Geltung. Ist dieser Winkel ein größerer, so kommen die sub a und b erwähnten Umstände in Betracht, ist aber der Winkel kleiner (als ungefähr 30°), so macht sich der sub c erwähnte Bau der Linse in hervorragender Weise bemerkbar. Diese Verhältnisse bestehen in gleicher Weise unverändert immer fort;

ad d: ist inkonstant, nur unter Umständen vorhanden, kann durch Lidschlag entfernt werden und ist daher nicht von Bedeutung,

ad e: wurde, da die Trübung der Luft eingehend physikalisch untersucht ist, nicht Gegenstand einer speziellen Untersuchung und kann gewifs unter gewöhnlichen Verhältnissen in Vergleich zu den im Auge selbst liegenden Ursachen vernachlässigt werden.

Daß noch andere Momente bei der Zerstreung des Lichtes mitspielen, ist wohl möglich, konnte jedoch von mir nicht nachgewiesen werden.

Es gelten die geschilderten Verhältnisse zunächst nur für meine Augen und wurden nur zum Teil an wenigen anderen normalen Augen nachgeprüft. Trotzdem scheint es mir aber nicht wahrscheinlich, daß es Augen mit klaren Medien und normaler Refraktion gibt, die sich in dieser Beziehung wesentlich

anders zur Blendung verhalten, denn bei meinen Versuchen erschien sie nur durch rein physikalische Verhältnisse bedingt, nicht aber durch eine unmittelbare Veränderung der Empfindung oder Wahrnehmung.

In der vorhergehenden Untersuchung (*diese Zeitschrift* 34, S. 1) war die Versuchsanordnung eine derartige, daß die Sehstörung hauptsächlich durch den Bau der Linse hervorgerufen werden mußte. Es darf uns daher nicht wundernehmen, daß bei den verschiedenen Personen sich kein wesentlicher Unterschied im Grade der Sehstörung zeigte.

Nachtrag.

Der liebenswürdigen Übersendung eines Separatabdruckes der „Untersuchungen über psychische Hemmung“¹ von Prof. HEYMANS verdanke ich es, daß meine Aufmerksamkeit auf einen Abschnitt dieser Abhandlung gelenkt wurde, der sich mit der „Verdrängung von Lichtempfindungen durch andere quantitativ gleiche, lokal aber von jenen verschiedene Empfindungen“ beschäftigt. Seine Resultate sind den Ergebnissen meiner Untersuchungen direkt entgegengesetzt.

HEYMANS sieht bei seinen Untersuchungen die Ursache der Erhöhung der Reizschwelle für Lichtreize („Passivreiz“) durch von anderer Stelle ins Auge fallendes Licht („Aktivreiz“) in einer psychischen Hemmung. Er gibt wohl die theoretische Möglichkeit einer Erhöhung der Reizschwelle durch Reflexion oder Zerstreuung des Lichtes im Apparate oder im Auge der Versuchsperson zu, stellt jedoch schliesslich auf Grund einiger Kontrollversuche und Überlegungen die Vermutung auf: „Damit scheint mir aber die Annahme, daß die oben besprochenen Hemmungserscheinungen auf Reflexion und Zerstreuung des Lichtes im Auge beruhen, endgültig zurückgewiesen zu sein.“

Die Gründe, durch welche er die Unhaltbarkeit dieser Ansicht zu beweisen sucht, scheinen mir doch nicht so überzeugend zu sein, und da ich durch meine Untersuchungen zu dem Ergebnisse gelangt bin, daß gerade der Zerstreuung und Reflexion des Lichtes die hervorragendste Bedeutung für die Erhöhung der Reizschwelle zukommt, will ich nun versuchen, ob es nicht

¹ *Diese Zeitschrift* 21, 321—359, und 26, 305—382.

gelingt, die von ihm angeführten Daten auch in diesem Sinne auszulegen.

Ich will es an dieser Stelle unterlassen, die Versuchsanordnung HEYMANS' zu schildern, nur die von ihm gegen obige Auffassung angeführten Beweisgründe (l. c. S. 329—335) sollen hier der Reihe nach einer genaueren Betrachtung unterzogen werden.

Lassen wir HEYMANS selbst sprechen: „Schließlich habe ich noch über einige Kontrollversuche zu berichten, durch welche naheliegende Zweifel an der Berechtigung, die vorliegenden Resultate dem allgemeinen Begriffe der Hemmung unterzuordnen, auf ihre Stichhaltigkeit geprüft werden sollten. Mit Rücksicht auf den großen Intensitätsunterschied zwischen Aktiv- und Passivreiz wäre es nämlich denkbar, daß das von jenem (der großen Diaphragmaöffnung) ausstrahlende Licht durch Reflexion oder Zerstreuung im Apparate oder im Auge der Versuchsperson eine dem schwachen Passivreiz gegenüber nicht zu vernachlässigende Erleuchtung des ganzen Sehfeldes zustande brächte; wenn dem aber so wäre, so könnte die festgestellte Erhöhung der Reizschwelle einfach als eine durch jene Erhellung des Hintergrundes nach dem WEBERSchen Gesetz zu erklärende Erhöhung der absoluten Unterschiedsschwelle gedeutet werden, und die Annahme einer Hemmungswirkung bei Lichtempfindungen wäre eine überflüssige Hypothese. Allerdings müßte in jenem Gedankengange Eines sonderbar erscheinen, welches sich für die Hemmungstheorie leicht erklären läßt, nämlich die in Tab. VII, VIII und IX regelmäÙig zurückkehrende weit überproportionale Erhöhung der Reizschwelle bei Verwendung stärkster Aktivreize; denn daß hier das reflektierte und zerstreute Licht, obgleich es für die Versuchsperson völlig unmerklich bleibt, schon stark genug sein würde um die bekannte „obere Abweichung“ vom WEBERSchen Gesetze eintreten zu lassen, ist doch wohl ausgeschlossen. Zur Erklärung der betreffenden Tatsache würde demnach jene Theorie doch wieder so wie so eine Hemmungswirkung gelten lassen müssen, während die hier vertretene Auffassung für die Erklärung des ganzen vorliegenden Tatbestandes mit der Hemmung allein auskommt.“

Die Tabellen VII und VIII sind angefertigt bei einer Mittelpunktsentfernung der beiden kreisförmigen Öffnungen (für den Aktiv- und Passivreiz) von 6 cm und einem Gesichtswinkel von

13,5°, Tab. IX bei 4 cm und 9° 5'. HEYMANS schließt aus diesen Tabellen, daß die durch Einwirkung eines Hemmungsreizes (Aktivreiz) erfolgende Erhöhung der Reizschwelle der Intensität dieses Hemmungsreizes proportional ist, weil die unter Zugrundelegung dieser Annahme erfolgte Berechnung der wahrscheinlichen Hemmungskoeffizienten und Reizschwellen Zahlen ergibt, die „in sehr genügender Weise“ zu den Versuchsergebnissen stimmen. Die starken Abweichungen der gefundenen Reizschwelle von der berechneten bei großer Intensität des Aktivreizes erklärt er durch die hemmende Wirkung von Gefühlstönen. „Die starken Lichtreize in der dunkeln Umgebung und nach der langen Vorbereitung in völliger Dunkelheit sind zwar nicht immer, aber doch oft dem Auge sehr unangenehm; sie müssen demnach das Bewußtsein mehr in Anspruch nehmen und stärker hemmend wirken, als es sonst der Fall sein würde.“

Diese starken Abweichungen scheinen mir nun nicht plötzlich und unvermittelt aufzutreten. Es zeigt sich in jeder der drei Tabellen eine übereinstimmende Regelmäßigkeit in der Ab-

Die Abweichungen der gefundenen von der berechneten Reizschwelle
in HEYMANS Tabelle VII, VIII, IX.

Intensität des Aktivreizes	in Tabelle VII		in Tabelle VIII		in Tabelle IX	
	—	+	—	+	—	+
0		1		12		3
961	3		1			8
2 034	11		6		8	
3 039		6	7		10	
3 846		1		0	25	
5 023		10		0	7	
6 837		1		0		9
9 846		0		9		13
15 384		456		48	(70)	
27 394		700		297		214

weichung der experimentell gefundenen Reizschwelle von der berechneten insofern, als die ersten und letzten Werte derselben zu groß, dazwischenliegende aber zu klein sind. Nur ein einziger Wert (Tab. IX, Aktivreiz 15 354) fügt sich dieser Regel nicht. Sonst aber findet sich diese, ich möchte fast sagen, bogenförmige Abweichung ausnahmslos in allen drei Tabellen in ähn-

licher Anordnung als eine Vorbereitung der selbstverständlich stärkeren Abweichung bei den stärksten Aktivreizen (vgl. auch graphische Darstellung von Tab. VIII in Fig. 5).

Mit Recht behauptet HEYMANS, daß hier von der „oberen Abweichung“ vom WEBERSchen Gesetz nicht die Rede sein kann. Wohl aber muß die „untere Abweichung“ hier zum Ausdruck kommen; dieser ist der berechnete Hemmungskoeffizient angepaßt, und wenn dann bei den stärkeren Reizen das WEBERSche Gesetz in das richtige Geleise kommen will, muß natürlich die gefundene Reizschwelle viel zu groß erscheinen.

Als weiteren Grund gegen die Zerstreuung und für die Hemmung führt HEYMANS eine Tabelle (XI) an, die das Ergebnis eines Versuches darstellt, welcher sich von dem der VII. und VIII. Tabelle zugrunde liegenden nur dadurch unterschied, daß eine Scheidewand so aufgestellt war, daß „der Aktivreiz nur dem linken, der Passivreiz nur dem rechten Auge sich irgendwie bemerkbar machen konnte“.

Die Tabelle XI sollte zeigen, was „die Hemmung ohne Zerstreuung zustande bringt“.

Selbst wenn dieser Versuch einwandfrei wäre, so müßte die Antwort auf die von HEYMANS gestellte Frage nach den Resultaten lauten: die Hemmung ohne Zerstreuung bringt nur $\frac{1}{10}$ von dem zustande, was die Hemmung mit Zerstreuung zustande bringt, wie wir aus dem Vergleich der Hemmungskoeffizienten der VII. und VIII. Tabelle mit dem der XI. unschwer ersehen können (vgl. auch Fig. 5, VIII und XI). Aber selbst diese geringe Abweichung muß nicht von einer Hemmung herrühren. Auf Grund der Ergebnisse meiner Versuche muß ich die naheliegende Vermutung aussprechen, daß die Erhöhung der Reizschwelle in diesem Falle auf Rechnung der Pupillarreaktion zu setzen ist; wenigstens erwähnt HEYMANS nicht, daß er diesen Faktor ausgeschlossen hat. Sowohl die geringe Zunahme der Reizschwelle, sowie die unregelmäßigeren Schwankungen derselben scheinen mir für eine solche Auffassung zu sprechen.¹

¹ HEYMANS gibt hierfür folgende Erklärung: „Von diesen Zahlen darf wohl mindestens soviel mit gutem Gewissen behauptet werden, daß sie deutlich die Tendenz bekunden, sich dem Proportionalitätsgesetze zu fügen. Übrigens sind hier die Hemmungswirkungen bedeutend schwächer als bei den früheren binokular, sonst aber unter gleichen Bedingungen angestellten Versuchen; was zu erwarten war. Denn schon während der Experimente

Den letzten, entgültigen Beweis sucht HEYMANS durch einen Versuch zu liefern, in welchem der Aktivreiz einmal den blinden Fleck trifft, ein anderes Mal nicht. Seine Tabelle scheint auch auf den ersten Blick einen schlagenden Beweis für seine Ansicht

HEYMANS Tabelle XII (Aktivreiz = 118).

Versuchseinrichtung	Anzahl der Versuche	Mittlere Reizschwelle	Wahrscheinlicher Fehler derselben
Aktivreiz verdeckt	18	0,115	0,011
Aktivreiz beleuchtet bl. Fleck	18	0,109	0,008
Aktivreiz wahrgenommen	18	0,221	0,009

zu liefern. Wenn man dieselbe jedoch genauer betrachtet und insbesondere mit den anderen Tabellen vergleicht, so muß man zugeben, daß man so manchen Einwand gegen dieselbe erheben kann.

Die Tabelle XII ist unter denselben Versuchsbedingungen angefertigt wie die Tabelle VII und VIII; nur wurde der Durchmesser der den Aktivreiz liefernden beleuchteten Fläche verkleinert (von 2 cm auf 1 cm), diese etwas nach links und unten verschoben (Mittelpunktsentfernung der beiden Flächen 7 cm gegen 6 cm in Tab. VII und VIII), und die Beobachtungen nur mit dem linken Auge gemacht.

Die Intensität des zu diesem Versuche von HEYMANS verwendeten Aktivreizes (= 118) war eine um vieles geringere als

erklärte die Versuchsperson wiederholt, daß der Aktivreiz jetzt kaum noch störend wirken könne, da sie denselben bei der angestregten Fixierung des Passivreizes fast ganz aus dem Auge verliere; welche Aussage dadurch eine interessante Bestätigung erhielt, daß einmal während eines Versuches durch eine zufällige Verschiebung der Lampe der Aktivreiz für die eine Hälfte verdunkelt, für die andere gelb statt weiß gefärbt wurde, ohne daß die Versuchsperson etwas davon bemerkte. Vermutlich haben instinktive, kaum bewusste und schwer auszuschließende Augenbewegungen die geringere Mercklichkeit des störenden Lichtes verschuldet; jedenfalls genügt dieselbe vollständig, um die schwächere Wirkung des Lichtes zu erklären, daß trotz derselben dennoch fast jede Verstärkung des Aktivreizes eine entsprechende Erhöhung der Schwelle für den Passivreiz mit sich führte, macht es in hohem Grade wahrscheinlich, daß auch die früher besprochenen Hemmungswirkungen von der Lichtzerstreuung im Auge wesentlich unabhängig waren.“

die kleinste der bei den anderen Versuchen verwendeten (= 961) und trotzdem wird auf diese Intensität eine Erhöhung der Reizschwelle auf das Doppelte bezogen.

Wenn wir uns nun fragen, eine wie grofse Veränderung der Reizschwelle sich bei einer solchen Intensität des Aktivreizes erwarten liefse, so finden wir, wenn wir dieser Berechnung den in Tabelle VIII gefundenen Hemmungskoeffizienten zugrunde legen, dafs die berechnete Reizschwelle $0,000\,030 \times 118 + 0,109 = 0,113$ sein müfste (gegen 0,221 in der Tabelle).

Den Hemmungskoeffizienten glaube ich hierbei eher noch zu grofs als zu klein gewählt zu haben, denn sowohl die gröfsere Entfernung als auch die Verkleinerung der Reizfläche (auf $\frac{1}{4}$) und vielleicht auch die monokulare Beobachtung zwingen uns, denselben kleiner anzunehmen als in Tabelle VIII.

Oder aber wir berechnen uns aus den Daten der Tabelle XII den Hemmungskoeffizienten, wie es HEYMANS sonst in jeder anderen Tabelle getan hat, so erhalten wir eine ganz undenkbbare Zahl: $(0,221 - 0,109) : 118 = 0,000\,595$.

Deutlich kommt dieses Mifsverhältnis auch in Fig. 5 zum Ausdruck (der ganz unverhältnismäfsig steile Verlauf von XII), in welcher ich die Resultate der Tabellen VIII, XI und XII von HEYMANS graphisch dargestellt habe.

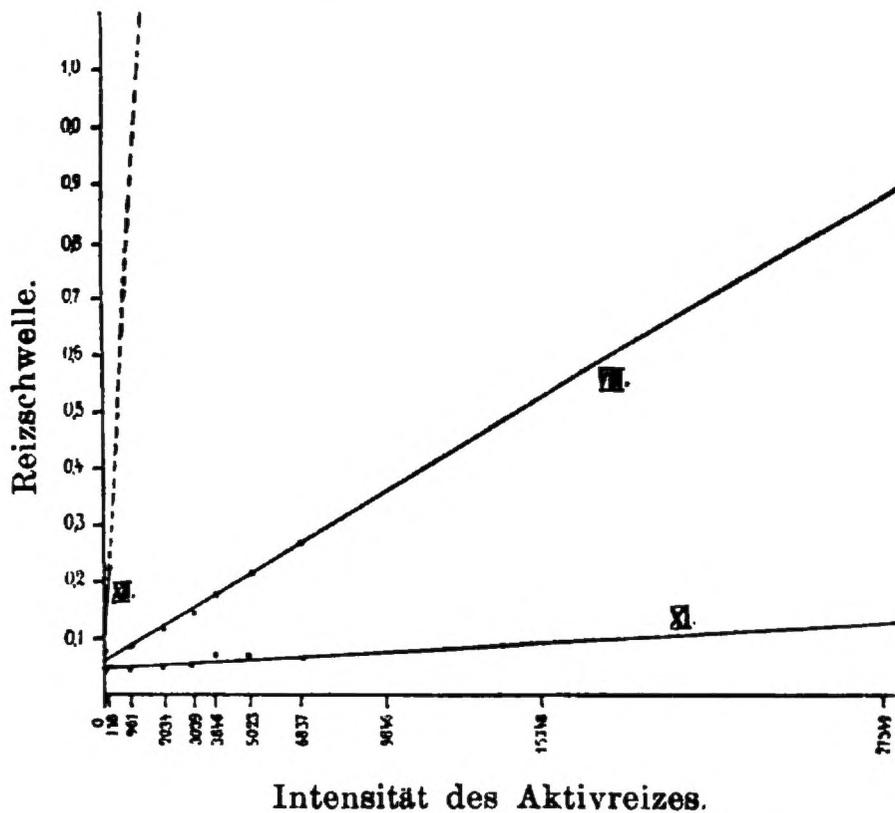


Fig. 5.

HEYMANS hat zu den Versuchen der Tabelle XII eine andere Versuchsperson verwendet als zu den übrigen Versuchen, ohne einen Grund hierfür anzugeben und meint, daß „die unerwartet starke Wirkung wohl auf die geringe Übung der Versuchsperson zurückgeführt werden muß“. Ich glaube eher die Unverwendbarkeit der Resultate daraus schliessen zu müssen.

Daß die in Tabelle XII gefundene Veränderung der Reizschwelle nicht durch den Aktivreiz = 118 hervorgerufen sein kann, ist mir vollständig klar. Schwieriger ist es, eine Erklärung für diese immerhin vorhandene Änderung zu finden. Nach den vor kurzem veröffentlichten Beobachtungen von KARL PETREN¹ scheint es mir möglich, daß die verschiedene Dauer der Versuche vielleicht einen Einfluß auf die Resultate ausübten², oder aber es wurden durch das „Umkehren der Diaphragmen“ die Lichtverhältnisse geändert. Es sind dies Vermutungen, die ich nicht näher begründen kann; denn der genauere Vorgang bei der betreffenden Untersuchung HEYMANS ist mir unbekannt.

Obige Auseinandersetzung bezieht sich natürlich nur auf jene Ergebnisse HEYMANS, die meinen Resultaten zu widersprechen scheinen. Daß unter Umständen eine Wechselwirkung der Bahnen des einen Auges mit denen des anderen im Sinne einer Hemmung stattfinden kann und tatsächlich auch stattfindet, beweist uns der Wettstreit der Sehfelder in dem Zeitpunkte, wo das eine Objekt der Wahrnehmung sich völlig entzieht. EXNERS Untersuchungen³ zeigen uns, daß diese Wechselwirkungen ver-

¹ *Skandinavisches Archiv für Physiologie* 15, S. 72.

² HEYMANS schreibt: „Im Anfang erwies es sich als nicht ganz leicht, den zu beobachtenden, mittels des MARBESCHEN Apparates bis zur Unmerklichkeit sich verdunkelnden Passivreiz unausgesetzt im Fixationspunkte, und damit das Bild des Aktivreizes auf dem blinden Fleck zu erhalten, und auch später machte sich bei unwillkürlichen Augenbewegungen der Aktivreiz noch bisweilen bemerklich; es wurde dann aber stets mit der Abgabe des Urteils gewartet, bis es gelungen war, denselben wieder auf den blinden Fleck zurückzubringen.“

³ S. EXNER: Experimentelle Untersuchung der einfachsten psychischen Prozesse. *Pflügers Arch. f. d. Physiol.* 11, S. 581, und Studien auf dem Grenzgebiete des lokalisierten Sehens. *Dass. Archiv* 73, S. 117.

schiedener Art sind und das wir eine verschiedene Lokalisation derselben im Nervensystem annehmen müssen. Ich will jedoch nicht näher auf dieses Kapitel eingehen und nur nochmals hervorheben, das derartige Hemmungen, wenn sie auch existieren, zur Erklärung der Resultate meiner Versuche nicht herangezogen werden müssen, indem sich diese aus der unzweifelhaft vorhandenen Veränderung des Netzhautbildes ergeben.

(Eingegangen am 20. Februar 1904.)
