

Über das Sehen von Bewegungen.

II. Mitteilung.

Die Wahrnehmung kleinster Bewegungen bei Ausschluss aller Vergleichsgegenstände.

Nach gemeinsam mit Herrn stud. med. H. Schlossberger
ausgeführten Untersuchungen mitgeteilt

von

Dr. **Adolf Basler**,

Privatdozent und Assistent am physiologischen Institut zu Tübingen.

(Mit 4 Textfiguren.)

Gelegentlich einer früheren Untersuchung über die Wahrnehmbarkeit von kleinen Bewegungen ¹⁾ hatte ich die Beobachtung gemacht, dass von Individuen mit normaler Sehschärfe bei mittlerer Tagesbeleuchtung die Verschiebung eines weissen Papierstreifens auf schwarzem Grunde noch erkannt wird, wenn die Verschiebung einem Gesichtswinkel von 20 Sekunden entspricht, oder wenn, wie ich mich kurz ausdrücken will, die Winkelverschiebung 20 Sekunden beträgt.

Es schien nun wünschenswert, die Versuche zu wiederholen unter Bedingungen, die es unmöglich machen, dass ausser dem bewegten Gegenstand irgendein anderer ruhender gesehen wird.

Wie man aber auch die Untersuchung vornimmt, man bemerkt stets ruhende Dinge in der Umgebung des bewegten Streifens. Denn bei allen Bemühungen, die umgebenden Gegenstände auszuschalten, etwa dadurch, dass man den ganzen beweglichen Streifen mit einem Pappzylinder umgibt, erreicht man nur, dass man statt anderer Gegenstände eben die Umrandung der freien Öffnung des Pappzylinders wahrnimmt, eine Schwierigkeit, die auch Aubert ²⁾ hervorhebt.

Es blieb mir deshalb nichts anderes übrig, als den Raum, in dem ich arbeitete, vollständig zu verdunkeln und einen von hinten her beleuchteten Spalt zu verschieben.

1) A. Basler, Über das Sehen von Bewegungen. I. Mitt. Die Wahrnehmung kleinster Bewegungen. Pflüger's Arch. Bd. 115 S. 582. 1906.

2) H. Aubert, Die Bewegungsempfindung. II. Mitt. Pflüger's Arch. Bd. 40 S. 459 (469). 1887.

Dabei wurde die Vorsichtsmaassregel angewendet, dass das aus dem Spalt heraustretende Licht so abgeschwächt wurde, dass es nicht als Lichtquelle dienend, die um den Spalt herum sich befindenden Gegenstände beleuchtete.

Versuchsanordnung.

Diesen Bedingungen entsprechend wurde die nachstehend beschriebene Versuchsanordnung getroffen.

An einer Wand des vollständig verdunkelten Raumes befand sich in einer Höhe von 130 cm über dem Boden (Augenhöhe des sitzenden Beobachters) angebracht ein starkwandiger Kasten aus Holz *A*, der an seiner vorderen Wand einen Ausschnitt *B* trägt, welcher von hinten her mit einer an die Starkstromleitung angeschlossenen

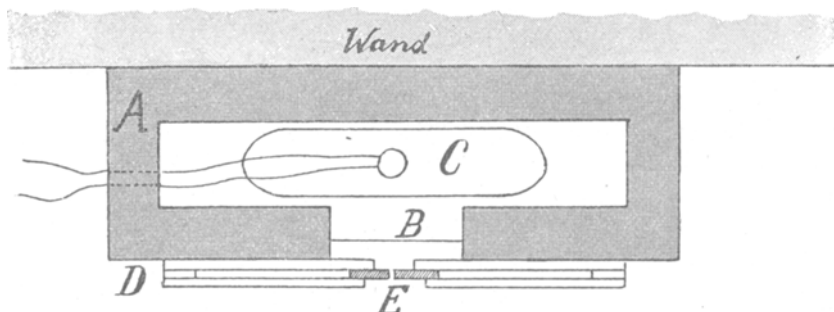


Fig. 1.

elektrischen Glühlampe *C* erhellt wurde. An der Vorderwand des Holzgehäuses war ein Apparat *D* angebracht, der es ermöglichte, kleine Bewegungen eines in einem Messingstück ausgeschnittenen Spaltes *E* herzustellen und die Exkursion dieser Bewegungen an einer Skala abzulesen.

Dieser Apparat, welcher umstehend in Fig. 2 schematisch wiedergegeben ist, ist durch einige Umänderungen aus dem in meiner ersten Publikation (Pflüger's Arch. Bd. 115, S. 582) beschriebenen entstanden. Er unterscheidet sich von dem ursprünglichen zunächst dadurch, dass in den um die Achse *F* beweglichen Hebel *B* ein enger Spalt *H* gesägt wurde. Des weiteren wurde durch die hintere Messingwand *A* ein Loch *J* von ungefähr 1 cm Durchmesser gerade hinter dem horizontalen Spalte *E* durchgebohrt, das zur Beleuchtung des engen Spaltes *H*, welcher vor ihm bewegt wird, dient. Damit aber das Loch stets verdeckt ist, musste der Hebel zwei Ver-

breiterungen KK erhalten. Da die Verschiebung des Spaltes H durch die Öffnung E hindurch 2 cm von der Achse F entfernt beobachtet wird, die Skala P aber 20 cm von der Achse entfernt ist, so beträgt die beobachtete Verschiebung den zehnten Teil des auf der Skala abgelesenen Wertes.

Damit man aber auch den Einfluss grösserer Verschiebungen des Spaltes untersuchen kann, habe ich den gleichen Schlitz O ausserdem in einer Entfernung von 14 cm von der Achse in dem Hebel anbringen lassen. Seine Verschiebungen werden beobachtet durch einen zweiten $\frac{1}{2}$ cm breiten horizontalen Spalt in der Deckplatte D des Apparates und beleuchtet durch eine entsprechend breite Öffnung M in der Platte A (auf der Skizze punktiert gezeichnet). Selbstverständlich mussten auch an dieser Stelle zwei Verbreiterungen NN an dem Hebel angebracht werden, welche bei jeder Stellung die ganze Öffnung zudecken. Die in dem Spalte beobachtete Bewegung beträgt $\frac{7}{10}$ der an der Skala abgelesenen Stellung.

Je nachdem man kleine oder grosse Exkursionen haben wollte, wurde der Apparat so an den Holzkasten angeschraubt, dass einmal der obere (E), das andere Mal der untere horizontale Spalt (Fig. 2) vor die Öffnung B des Holzkastens (Fig. 1) kam, und durch diese hindurch von der Glühlampe beleuchtet wurde.

In die Öffnung B waren einerseits, um die Beleuchtung möglichst gleichmässig zu machen, andererseits um die Intensität genügend herabzusetzen, eine Mattglasscheibe und darüber drei Papiere von mittlerer Dicke eingesetzt.

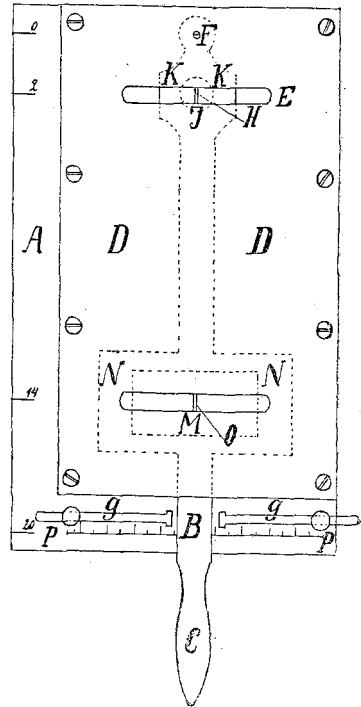


Fig. 2. Apparat für Verschiebungen. A Platte aus starkem Messingblech. B Hebel zum Verschieben mit seitlichen Ansätzen K und N und zwei senkrechten Spalten H und O . C Handhabe des Hebels B . D Decke aus schwarz gebeiztem Messingblech. Bei Marke 2 und $14\frac{1}{2}$ cm breite, horizontale Spalten in der Decke D . F Achse des Hebels. GG Stellvorrichtung: zwei in seitlich angebrachten Muffen verschiebbliche und feststellbare Stahlstäbe. J und M Öffnungen in der Platte A . PP Skala zum Ablesen der Verschiebung

Um einen Fixationspunkt an beliebiger Stelle markieren zu können, war eine elektrische Taschenlampe verschieblich an einem starken Stativ befestigt, welches in jede Lage zu dem bewegten Spalt gebracht werden konnte. Die Taschenlampe war vorn mit einer Kappe aus Blech verschlossen, in der sich nur ein kleines etwa stecknadelkopfgrosses Loch befand. Dieses wurde so dick mit Papier überklebt, dass man nur einen hellen Punkt, aber keine Strahlung wahrnehmen konnte.

Die Versuchsperson sass in einer Entfernung von 2 m vor dem Apparat, wobei die richtige Entfernung dadurch gesichert wurde, dass die Stirn sich gegen eine in horizontaler Richtung an einem Stativ angebrachte Stütze lehnte.

Wahrnehmung von Bewegungen im direkten Sehen.

Zunächst wurde die Empfindlichkeit für Bewegungen im direkten Sehen gemessen, d. h. es wurde festgestellt, wie gross die Bewegung eines leuchtenden Punktes im sonst vollständig dunklen Raume sein muss, damit sie eben noch wahrgenommen wird, wobei der sich bewegende Punkt fixiert wurde. Dabei war ausser dem bewegten Spalt nichts zu sehen, auch kein Vergleichspunkt war markiert.

Bei diesen Versuchen wurde der Spalt *E* der Abbildung Fig. 2 S. 3 mit einem $\frac{1}{2}$ mm breiten Schlitz, der in ein Stück schwarzes Papier eingeschnitten war, überdeckt, so dass man nicht eine $\frac{1}{2}$ cm lange senkrechte Linie, sondern nur einen leuchtenden Punkt sich bewegen sah.

Die Versuche wurden sowohl mit beiden Augen als auch jeweils mit dem rechten und linken allein ausgeführt. Dabei wurde die Vorsichtsmaassregel gebraucht, dass die Beobachtungen, um Ermüdungserscheinungen zu vermeiden, nie lange fortgesetzt wurden.

Bei allen Versuchen war übereinstimmend zu beobachten, dass die Versuchsperson S.¹⁾ kleinere Bewegungen wahrnahm als die Versuchsperson B. Um eine Vorstellung zu geben von der Art, wie die Beobachtung vorgenommen wurde, sei an dieser Stelle eines meiner Versuchsprotokolle mitgeteilt.

1) Die Versuchsperson S. hatte nach Snellen für beide Augen eine Sehschärfe von $\frac{6}{3}$, die Versuchsperson B. von $\frac{6}{4}$.

Versuch vom Freitag, 31. Januar 1908.

Entfernung der Augen vom bewegten Spalt 2 m. Versuchsperson S. Emmetrop, linkes Auge.

Nr.	Exkursion mm	Sichtbarkeit	Schätzung der Bewegungsgrösse
1	0,8	ja	$\frac{1}{4}$
2	0,5	nein	—
3	0,6	nein	—
4	0,7	ja	schwach
5	0,7	nein	—
6	0,7	ja	—
7	0,7	ja	ganz schwach
8	0,7	ja	—
9	0,6	nein	—
10	0,6	nein	—
11	0,6	nein	—

Dass die Ergebnisse im allgemeinen die gleichen blieben, wenn die Beobachtung mit beiden Augen vorgenommen wurde, zeigt folgender Versuch.

Versuch vom Freitag, 31. Januar 1908.

Entfernung der Augen vom bewegten Spalt 2 m. Versuchsperson S. Emmetrop, beide Augen.

Nr.	Exkursion mm	Sichtbarkeit	Schätzung der Bewegungsgrösse
1	0,85	ja	gering
2	0,7	ja	gering
3	0,7	ja	gering
4	0,7	ja	gering
5	0,6	kaum sichtbar	—
6	0,6	ja	gering
7	0,6	nein	—
8	0,5	nein	—
9	0,7	ja	—

Wie aus den beiden mitgeteilten Versuchen ersehen werden kann, werden mitunter bei gleichen Exkursionen die Bewegungen das eine Mal gesehen, das andere Mal nicht. So wurde z. B. bei dem ersten Versuche eine Bewegung mit der Exkursion 0,7 mm 4mal wahrgenommen, 1mal nicht. Bei dem zweiten Versuch wurde die Verschiebung um 0,6 mm einmal bestimmt erkannt, 2mal dagegen nicht, resp. nur unsicher. Diese Exkursionen bilden eben die Grenzen der Wahrnehmbarkeit.

Entfernt sich die Exkursion aber nur ganz wenig von dieser Grösse nach der einen oder anderen Richtung, dann kann man mit aller Bestimmtheit angeben, ob eine Bewegung stattgefunden hat oder nicht.

Das Ergebnis dieser Versuchsreihe war, dass die Versuchsperson S. im Dunkeln, also bei Ausschluss aller Vergleichsgegenstände, eine Bewegung wahrnahm, deren Exkursion 0,7 mm gross ist, so dass die Verschiebung des Netzhautbildes $5,25 \mu$ beträgt, was einem Gesichtswinkel von 1 Min. 15 Sek. entspricht.

Ich selbst erkannte eine Bewegung, welche 1,1 mm gross ist. Dabei beträgt die Winkerverschiebung 1 Min. 55 Sek. und die Bewegung des Netzhautbildes $8,25 \mu$.

Günstiger gestaltete sich die Wahrnehmbarkeit, wenn nicht ein Punkt, sondern eine $\frac{1}{2}$ cm lange senkrecht stehende leuchtende Linie verschoben wurde.

Dann nahm die Versuchsperson S. eine Verschiebung von 0,5 mm, die Versuchsperson B. eine solche von 0,8 mm mit voller Sicherheit wahr.

Bei mittlerer Tagesbeleuchtung wurde früher von mir, ebenfalls auf 2 m Entfernung, die Verschiebung eines weissen Papierstreifens auf schwarzem Grunde noch wahrgenommen, wenn sie 0,2 mm betrug¹⁾, was einer Verschiebung des Netzhautbildes um $1,5 \mu$ gleichkommt oder einer Winkerverschiebung von 21 Sek.

Die eben wahrnehmbare Exkursion beträgt demnach im Dunkeln ungefähr das Vierfache derjenigen bei Tagesbeleuchtung.

Bei kleinen Verschiebungen, welche an der Grenze der Wahrnehmbarkeit liegen, trat die Bewegungsempfindung erst nach einiger Zeit auf. Eine ähnliche Beobachtung machte auch Aubert²⁾ bei Bewegungen, welche wegen ihrer Langsamkeit kaum gesehen werden können.

Peripheres Sehen³⁾.

An der Peripherie des Gesichtsfeldes mussten die Exkursionen wesentlich grösser werden, damit die Bewegung erkannt wurde.

1) A. Basler, Über das Sehen von Bewegungen. I. Mitteilung. Pflüger's Arch. Bd. 115 S. 582 (586). 1906.

2) H. Aubert, Die Bewegungsempfindung. Pflüger's Arch. Bd. 39 S. 347 (353 und 355). 1886.

3) In neuester Zeit publizierte L. Ruppert ähnliche Untersuchungen, die unter Exner's Leitung ausgeführt wurden unter dem Titel: Ein Vergleich zwischen dem Distinktionsvermögen und der Bewegungsempfindlichkeit der Netzhautperipherie. Zeitschrift f. Sinnesphysiol. Bd. 42 S. 409. 1908. Leider wurde mir diese Arbeit erst während der Korrektur zugänglich, so dass ich mir ein näheres Eingehen auf dieselbe für eine spätere Mitteilung vorbehalten muss.

Deshalb wurde zu diesen Untersuchungen der in Fig. 2 S. 315 abgebildete Apparat so vor dem Ausschnitte *B* des Holzkastens (Fig. 1 S. 314) angebracht, dass der untere Ausschnitt *M* (Fig. 2) beleuchtet war, so dass die beobachtete Verschiebung statt auf $\frac{1}{10}$ nur auf $\frac{7}{10}$ verkleinert war (vgl. die Beschreibung des Apparates S. 315).

Bei Ausführung dieser Untersuchungen glaubten wir häufig zu beobachten, dass verhältnismässig langsame Verschiebungen besser gesehen wurden als schnelle, eine Erscheinung, auf die weiter unten eingegangen werden soll. Da ich deshalb über die günstigste Frequenz der Bewegung im Zweifel war, wurden die Verschiebungen des beleuchteten Spaltes in allen möglichen Geschwindigkeiten ausgeführt, wobei ich von der Annahme ausging, dass darunter die am besten wahrnehmbare Geschwindigkeit enthalten ist.

Zunächst wurde das ganze Gesichtsfeld in einer durch den Fixationspunkt gelegten horizontalen und einer vertikalen Linie mit verschiedenen grossen Exkursionen abgetastet, um festzustellen, wie gross an den einzelnen Stellen des Gesichtsfeldes die Bewegung sein muss, um als solche erkannt zu werden.

Bei Bestimmung der bei Tagesbeleuchtung wahrnehmbaren Bewegungsgrösse hatte ich gefunden, dass die Empfindlichkeit nach der Peripherie zu immer mehr abnahm, mit anderen Worten, dass die Bewegung immer grösser werden musste, um erkannt zu werden, so dass auf einer Linie, die ich mir von rechts nach links durch die Macula lutea gelegt denke, bei einer Entfernung des bewegten Papierstreifens von dem Fixationspunkt, welche einem Winkel von ungefähr 26° entsprach, die Exkursion etwas über 8mal so gross sein musste als an der Stelle des deutlichen Sehens selbst.

In ganz ähnlicher Weise war auch im Dunkeln, also bei Ausschluss aller Vergleichsgegenstände, eine Abnahme der Empfindlichkeit von der Fovea nach der Peripherie zu beobachten.

So betrug die eben wahrnehmbare Exkursionsgrösse einer leuchtenden Linie 26 Winkelgrade von dem Fixationspunkt entfernt 7,0 resp. 9,1 mm, während an der Stelle des deutlichsten Sehens eine Exkursion von 0,5 mm sicher erkannt wurde. Mithin musste die Exkursionsgrösse an der Peripherie im Dunkeln, also bei Ausschluss jedes Vergleichsgegenstandes den 10- bis 13fachen Wert besitzen.

Nun ist aber gerade die Beurteilung des Gesehenen an der Peripherie des Gesichtsfeldes ausserordentlich schwierig. Aus diesem Grunde stimmen die Zahlen der einzelnen Beobachtungen nicht

so genau überein wie bei der Untersuchung an der Stelle der Macula lutea.

Als sicher erwiesen ergab sich jedoch, dass für sämtliche Stellen der Netzhaut bei Ausschluss aller Vergleichsgegenstände die Bewegung grösser sein muss als im Hellen, und dass, wie dies auch im Hellen der Fall ist, die Exkursion für irgendeine Stelle des Gesichtsfeldes um so grösser sein muss, je weiter diese Stelle von dem Fixationspunkte entfernt ist.

Die Abnahme der Sehschärfe für Bewegungen im Dunkeln von dem Fixationspunkt aus gegen die Peripherie ist in der Figur 3 als ausgezogene Linie dargestellt.

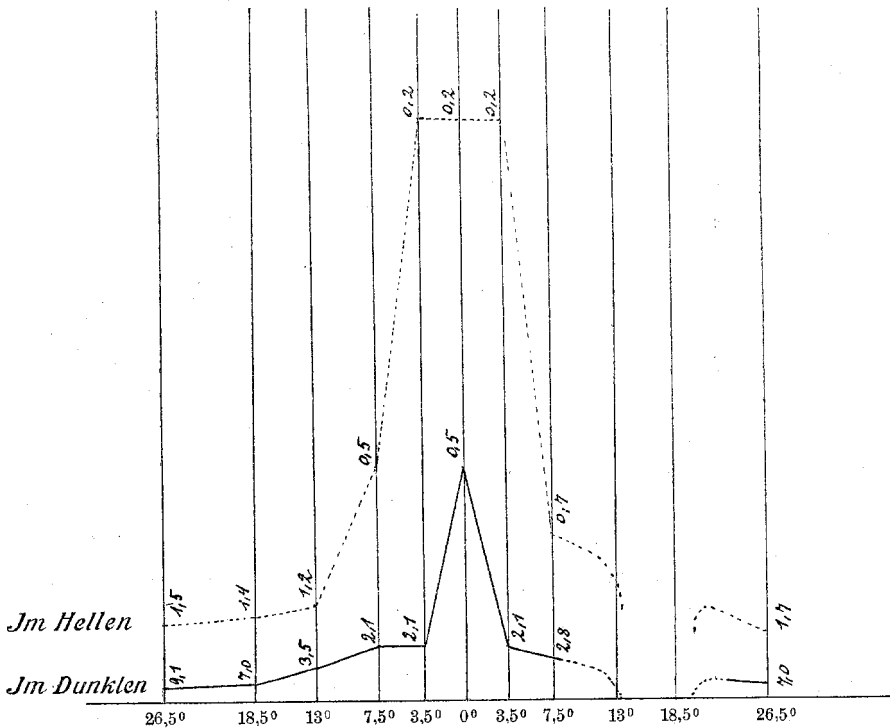


Fig. 3.

Auf der Abszissenachse sind von dem Fixationspunkte *O* aus nach beiden Seiten hin die Entfernungen von dem Fixationspunkte in Winkelgraden als Strecken abgetragen. Die Sehschärfe für die Macula lutea wurde = 1 gesetzt. Demnach ist die Sehschärfe für

jede Stelle des Gesichtsfeldes dadurch zu ermitteln, dass man den Quotienten bildet zwischen der Grösse der foveal eben noch wahrnehmbaren Verschiebung und der Bewegung, welche noch an der betreffenden Stelle des Gesichtsfeldes empfunden wird.

Zum Vergleich wurde die analoge Kurve für die Bewegungswahrnehmung im Hellen punktiert darüber gezeichnet.

Die über den Kurven stehenden Zahlen bedeuten die eben wahrnehmbaren Verschiebungen in Millimetern.

Aus jeder einzelnen der beiden Kurven übersieht man ohne weiteres, wie die Sehschärfe für Bewegungen nach der Peripherie hin abnimmt, während man sich durch den Vergleich der beiden Linien leicht überzeugen kann, dass wir in dem Erkennen von Bewegungen bei Ausschluss aller Vergleichsgegenstände viel unsicherer sind, als wenn wir solche an allen möglichen Stellen des Gesichtsfeldes zur Verfügung haben.

Besteht eine Beziehung zwischen anatomischem Bau und Bewegungsempfindung an verschiedenen Stellen der Netzhaut?

Wenn wir die Zahlen betrachten, welche durch die verschiedenen Versuchsreihen im Hellen und Dunkeln gefunden wurden, so drängt sich die Frage auf, ob eine Beziehung nachzuweisen ist zwischen der Anzahl der Zapfen an einer bestimmten Stelle der Netzhaut und der kleinsten wahrnehmbaren Bewegungsgrösse eines Netzhautbildes an eben dieser Stelle.

Bekanntlich wurde diese Frage schon aufgeworfen hinsichtlich der Sehschärfe im gewöhnlichen Sinne, d. h. des Distinktionsvermögens an der Netzhautperipherie. So vergleicht Zoth¹⁾ die Abnahme der Sehschärfe gegen die Peripherie mit der Abnahme der Zapfenzahl, betont jedoch, dass nach den vorliegenden Messungen, die Sehschärfe viel schneller abnimmt, als der Verteilung der Zapfen entsprechen würde.

Die Zapfen nehmen nämlich, wie aus dem von Zoth abgebildeten Schema übersichtlich hervorgeht, von der Macula lutea aus allmählich so ab, dass etwa am Netzhautäquator auf ein Gebiet, dessen Durch-

1) O. Zoth, Die Augenbewegungen und Gesichtswahrnehmungen. W. Nagel's Handbuch der Physiologie Bd. 3 S. 283 (355). Braunschweig 1905.

messer die fünffache Grösse eines Maculazapfens besitzt, nur ein Zapfen zu liegen kommt, während das ganze übrige Gebiet in dieser Region von Stäbchen ausgefüllt ist; gleichzeitig werden auch in dieser Gegend die einzelnen Zapfen grösser.

Da, wie allgemein bekannt, die Bewegungsempfindung nach der Peripherie des Gesichtsfeldes langsamer abnimmt als das Distinktionsvermögen, so wäre daran zu denken, dass die Sehschärfe für Bewegungen für die verschiedenen Teile der Netzhaut mit der Verteilung der Zapfen übereinstimmt.

Es lässt sich indessen unschwer zeigen, dass auch die Empfindlichkeit für Bewegungen von der Fovea nach der Peripherie viel schneller abnimmt als die Zapfenzahl in den entsprechenden Abschnitten. Denn nach meinen früheren Beobachtungen betrug bei Tageslicht die Sehschärfe für Bewegungen in einem Punkt des Augenhintergrundes, der $26,5^\circ$ von der Macula lutea entfernt liegt, nur den achten Teil der fovealen Sehschärfe, bei im Dunkeln ausgeführten Versuchen sogar nur den zehnten bis dreizehnten Teil. Dabei sei noch besonders daran erinnert, dass ein Punkt, der $26,5^\circ$ von der Fovea entfernt liegt, sich bei weitem noch nicht in der Nähe des Netzhautäquators befindet, so dass also die Zapfen an dieser Stelle sogar noch näher beisammen stehen.

Beurteilung der Grösse der Exkursion.

Um gleichzeitig mit den übrigen Beobachtungen eine Übersicht über die Beurteilung der Bewegungsgrösse zu erhalten, wurde bei allen Versuchsprotokollen in einer besonderen Kolumne die scheinbare Exkursionsgrösse angegeben.

Dass man in dieser Hinsicht nicht nur für das direkte, sondern auch für das indirekte Sehen ohne Schwierigkeit bestimmte Antworten erhielt, mag aus umstehenden Protokollen hervorgehen.

Ein Blick auf die Tabellen lehrt, dass die Beurteilung der Grösse häufig nicht in einer Beziehung steht zu der wirklich ausgeführten Bewegung, sondern dass ein und dieselbe Bewegung ihrer Grösse nach oft ziemlich verschieden beurteilt wird. Keineswegs kann man aber sagen, dass die Bewegung überschätzt wird, sondern eher wird sie unterschätzt. Auch an der Peripherie wurden die Bewegungen ungefähr in der gleichen Weise beurteilt wie beim direkten Sehen.

Versuch vom Freitag, 7. Februar 1908.

Entfernung der Augen von dem bewegten Spalt 2 m. Versuchsperson S.
Emmetrop, rechtes Auge. Fixationspunkt 13 cm links von Bewegung.

Nr.	Exkursion mm	Sichtbarkeit	Schätzung der Bewegungsgrösse	Bemerkungen
1	4,2	ja	schwach	Bei langsamer Verschiebung ist die Bewegung deutlicher und die Exkursion scheint grösser. Nur bei nicht zu schneller Bewegung zu sehen.
2	4,9	ja	$\frac{1}{4}$ cm	
3	4,2	ja	2 mm	
4	4,2	ja	1–2 mm	
5	3,5	ja	1–2 mm	
6	3,5	ja	1–2 mm	
7	3,5	ja	1–2 mm	
8	2,1	ja	sehr gering	
9	2,1	ja	sehr gering	
10	2,1	nein	—	
11	2,1	ja	gering	
12	2,8	ja	$\frac{1}{2}$ –1 mm	
13	2,8	ja	2 mm	
14	2,8	ja	$\frac{1}{4}$ cm	
15	1,4	kaum sichtbar	—	

Versuch vom Freitag, 7. Februar 1908.

Entfernung der Augen von dem bewegten Spalt 2 m. Versuchsperson S.
Emmetrop, rechtes Auge. Fixationspunkt 26 cm links von Bewegung.

Nr.	Exkursion mm	Sichtbarkeit	Schätzung der Bewegungsgrösse
1	7,0	ja	$\frac{3}{4}$ cm
2	7,0	ja	$\frac{1}{2}$ cm
3	5,6	ja	$\frac{1}{2}$ cm
4	4,2	ja	$\frac{1}{4}$ cm
5	2,1	nein	—
6	2,8	ja	1 mm
7	2,8	kaum sichtbar	—
8	2,8	nein	—
9	3,5	ja	1 mm
10	3,5	ja	2 mm
11	3,5	ja	1 mm

Bei Gelegenheit meiner Untersuchungen im Hellen hatte ich hervorgehoben, dass für die kleinen Bewegungen der Satz von Exner¹⁾, dass die Bewegungen an der Peripherie gegenüber den zentral gesehenen überschätzt werden, keine Gültigkeit hat.

Wie aus den beiden obenstehenden Tabellen hervorgeht, lässt sich das Gleiche auch über die im Dunkeln angestellten Versuche sagen.

1) S. Exner, Ein Versuch über die Netzhautperipherie als Organ zur Wahrnehmung von Bewegungen. Pflüger's Arch. Bd. 38 S. 217. 1886.

Des weiteren hatte ich aber für die Beobachtung aus geringer Entfernung, nämlich 30 cm, gefunden, dass die kleinen Bewegungen ganz bedeutend überschätzt werden.

Bei dieser Gelegenheit sei der Apparat, den ich dazu verwendete, in der verbesserten Form, in der ich ihn auch auf dem VII. internationalen Physiologenkongress in Heidelberg gezeigt habe, nochmals beschrieben.

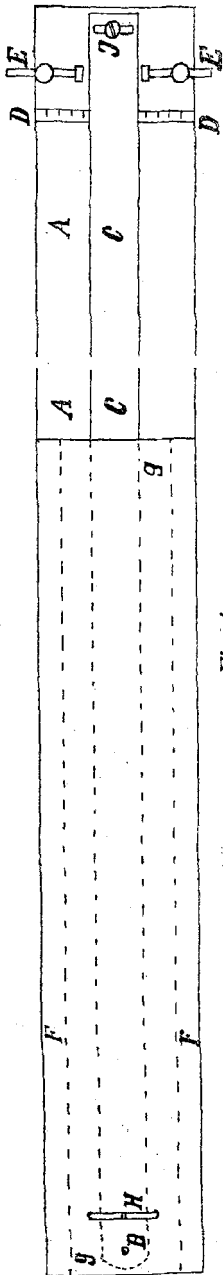
Er besteht aus einem 115 cm langen, 9 cm breiten und 2,5 cm dicken Brett aus altem Eichenholz *A* (Fig. 4). Auf diesem Brett ist um eine Schraube *B* als Achse drehbar ein flacher Holzstab *C* von nicht ganz der gleichen Länge wie das Brett befestigt, welcher an der der Achse *B* gegenüberliegenden Schmalseite des Brettes 100 cm von der Achse entfernt auf einer in das Holz eingelegten Skala *D* läuft, und welcher mittels der beiden Hemmungen *EE* in seiner Exkursion beliebig beschränkt werden kann.

Fig. 4.

Die Schraube *J* hat den Zweck, zu verhindern, dass das untere Ende des Stabes sich von dem Brette abhebt.

An beiden Längsseiten des Brettes sind zwei Holzleisten *FF* angebracht, die gleich dick sind wie der verschiebbliche Holzstab *C*. Letzterer sowie die Achse, um die er sich dreht, sind den Blicken entzogen durch einen schwarzen Karton *GG*, welcher mittels kleiner Stifte auf den beiden Leisten *FF* befestigt ist. In den Karton ist genau 2 cm von der Achse *B* entfernt in senkrechter Richtung zu dem Stabe *C* ein $\frac{1}{2}$ cm breiter Spalt *H* eingeschnitten.

Der Teil des Stabes *C*, welcher unter dem Spalt *H* sichtbar wird, ist mit schwarzem Samtpapier überzogen, und auf diesem ist ein ungefähr 2 mm breiter Streifen von weissem Barytpapier in der Richtung der Achse des Stabes aufgeklebt.



Da der Spalt H 2, die Skala D 100 cm von der Achse entfernt ist, so beträgt die unter dem Spalt direkt beobachtete Verschiebung den 50ten Teil des auf dem Maassstab abgelesenen Wertes. Dass die beobachteten Verschiebungen des Barytpapierstreifens wirklich dem berechneten Werte entsprechen, habe ich mit Hilfe des Mikroskopes und Okularmikrometers häufig direkt festgestellt.

Ich habe seit meiner ersten Publikation zahlreiche neue Versuche mit diesem Apparat angestellt und bei allen Beobachtern die Tatsache feststellen können, dass sie die kleinen Bewegungen weit überschätzten.

Um unter möglichst gleichmässigen Bedingungen zu arbeiten, habe ich in neuerer Zeit die Untersuchungen im sonst dunklen Raume neben einer Auer glühlichtlampe vorgenommen und gefunden, dass bei dieser Anordnung B. und S. eine Exkursion von 0,02 mm noch erkannten.

Mit meiner Erfahrung, dass die Bewegungen bei Tagesbeleuchtung überschätzt werden, scheinen nun die Ergebnisse im Dunkeln nicht übereinzustimmen, wobei jedoch hervorgehoben werden muss, dass auch bei Tagesbeleuchtung in einer Entfernung von 2 m die Exkursionen bei weitem nicht so erheblich überschätzt wurden.

Deshalb stellte ich auch Untersuchungen im Dunkeln an bei einer Entfernung von 30 cm. Die Anordnung blieb im wesentlichen die gleiche wie bei den früher beschriebenen Versuchen. Der einzige Unterschied bestand darin, dass jetzt die Versuchsperson so nahe beim Apparat Platz nahm, dass dabei die Augen gerade 30 cm von dem verschieblichen Spalt entfernt waren. In dieser Lage wurde der Kopf fixiert.

Das Ergebnis dieser Versuchsreihe war im grossen und ganzen das folgende:

B. erkannte stets eine Verschiebung von 0,3 mm oder $3\frac{1}{2}$ Winkelminuten, nicht mehr dagegen eine solche von 0,2 mm oder 2 Minuten 20 Sekunden.

S. sah noch eine Verschiebung von 0,2 mm (= 2 Min. 20 Sek.), konnte jedoch eine solche von 0,1 mm (= 1 Min. 10 Sek.) nicht mehr wahrnehmen.

Das Wichtigste aber schien mir bei diesem Versuch die jeweilige Schätzung der Grösse. Am besten dürften die Ergebnisse illustriert sein durch zwei meiner Protokolle.

Versuch vom Mittwoch, 4. März 1908.

Entfernung der Augen vom bewegten Spalt 30 cm. Versuchsperson B.
Emmetrop, beide Augen.

Nr.	Exkursion mm	Sichtbarkeit	Schätzung der Bewegungsgrösse mm
1	0,2	unbestimmt	—
2	0,35	ja	$\frac{1}{2}$ —1
3	0,3	ja	$\frac{1}{2}$ —1
4	0,4	ja	1—2
5	0,2	manchmal	$\frac{1}{2}$

Versuch vom Mittwoch, 4. März 1908.

Entfernung der Augen vom bewegten Spalt 30 cm. Versuchsperson S.
Emmetrop, beide Augen.

Nr.	Exkursion mm	Sichtbarkeit	Schätzung der Bewegungsgrösse mm
1	0,2	ja	$\frac{1}{4}$
2	0,1	nein	—
3	0,3	ja	$\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{2}$
4	0,4	ja	1

Wenn man die letzte Kolumne der beiden kleinen Tabellen mit der zweiten vergleicht, so sieht man ohne weiteres, dass in der Regel die Bewegung auch in diesem Falle etwas zu gross beurteilt wird. Dieses Überschätzen ist aber bei weitem nicht so gross wie bei den Versuchen im Hellen, wo die Exkursion der Bewegung häufig für 10 mal zu gross gehalten wurde. Für diesen Unterschied gegenüber meinen früheren Untersuchungen bietet die Erklärung keine grossen Schwierigkeiten.

Schon bei meinen Versuchen bei Tageslicht hatte ich nämlich gefunden, dass hauptsächlich die sehr kleinen Bewegungen von $\frac{2}{100}$ — $\frac{5}{100}$ mm am meisten überschätzt werden, Exkursionen, die im Dunkeln überhaupt nicht wahrgenommen werden können.

**Warum werden überhaupt die Bewegungen im Dunkeln
so bestimmt wahrgenommen?**

Auffallend war mir, dass man bei den von mir untersuchten kleinen Bewegungen ohne Vergleichspunkt überhaupt sagen kann, ob eine Bewegung stattfindet oder nicht. Nach den Beobachtungen von

Aubert¹⁾ herrscht ja in der Beurteilung von Bewegungen bei Ausschluss aller ruhenden Gegenstände eine grosse Unsicherheit, die er mit folgenden Worten schildert:

„Diese Versuche haben nun das überraschende Resultat ergeben, dass bei Ausschluss ruhender Objekte unsere Empfindung der Bewegung eine höchst unsichere ist, dass man einerseits bisweilen festüberzeugt ist, Bewegung zu sehen, wenn keine objektive Bewegung vorhanden ist, andererseits eine recht lebhafte objektive Bewegung nicht empfindet und überhaupt nicht bemerkt.“

Demgegenüber konnte ich von einer bestimmten Grösse der Exkursion an stets mit aller Sicherheit angeben, ob der beobachtete Punkt sich bewegte, oder ob er in Ruhe war.

Der Unterschied zwischen Aubert's und meinen Beobachtungen liegt in der verschiedenen Art der Untersuchung. Aubert beobachtete Bewegungen, welche in stets gleicher, ziemlich geringer Geschwindigkeit und in der gleichen Richtung über einen grossen Teil des Gesichtsfeldes (einen Gesichtswinkel von 16°) hinweggingen²⁾.

Diese von Aubert untersuchten Bewegungen wurden nun offenbar häufig verwechselt mit den sogenannten autokinetischen Empfindungen, d. h. Bewegungen, welche man wahrzunehmen glaubt, wenn man in einem sonst verdunkelten Raume nichts sieht als einen leuchtenden Punkt.

Die Art, in der sich diese Bewegung zu vollziehen scheint, wird von Exner³⁾ folgendermaassen beschrieben:

„Wenn man in einem übrigens vollkommen verdunkelten Raume einen Lichtpunkt durch Minuten fixiert, so scheint es bald, dass er sich bewegt. Oft schon wenige Sekunden nach dem Beginne der Fixation glaubt man eine sanfte Verschiebung an ihm zu sehen, dann entsteht der Eindruck, dass er langsam nach irgendeiner Richtung hin getragen wird, wie die behaarte Frucht von *Leontodon* bei leiser Luftbewegung über die Wiese hinschwebt, oftmals die Richtung wechselnd, zeitweise aber auch lange nahezu geradlinige

1) H. Aubert, Die Bewegungsempfindung. II. Mitt. Pflüger's Arch. Bd. 40 S. 459 (473). 1887.

2) H. Aubert, l. c. S. 472.

3) S. Exner, Über autokinetische Empfindungen. Zeitschr. für Psych. u. Physiol. der Sinnesorgane Bd. 12 S. 313 (313). 1896.

Strecken zurücklegend. Der Lichtpunkt kann bisweilen um 20, 30 Winkelgrade und mehr aus seiner ursprünglichen Lage gewichen erscheinen.“

Hoppe¹⁾ führt die Scheinbewegungen auf unbewusste Bewegungen des Auges zurück. Eine solche Erklärung scheint zunächst die plausibelste zu sein; denn wenn man keine Kontrolle hat für die Stellung der Augen, dann führen dieselben — sollte man meinen — kleine Bewegungen aus. Der Einfluss, den die Augenbewegungen auf die Verschiebung des Netzhautbildes haben, wird aber nach den Beobachtungen von v. Fleischl²⁾ stets unterschätzt, und die Folge davon ist, dass man glaubt, der Punkt, der sich nacheinander auf verschiedenen Stellen der Netzhaut abbildet, bewege sich. Trotzdem diese Erklärung auf den ersten Blick so selbstverständlich erscheint, wurde sie aber schon von Charpentier³⁾ und seither von allen Forschern, die sich mit einer Erklärung der autokinetischen Empfindungen beschäftigten, verworfen.

Exner⁴⁾ erklärt die Erscheinung damit, dass „kleine oder lichtschwache Objekte, auf der Netzhaut abgebildet, nur unvollkommene Lokaleindrücke geben,“ wodurch die Empfindung entsteht, dass der Gegenstand um einen geringen Betrag wandert. Im Dunkeln, also bei Ausschluss aller Vergleichsgegenstände, bemühen wir uns mit Erfolg, das Bild eines gesehenen Objektes auf der Macula lutea zu halten. Dabei bilden wir uns ein, dem Gegenstande mit dem Blicke zu folgen, da er ja scheinbar seinen Ort wechselt, und die Folge ist, dass wir die Bewegung überschätzen.

Bourdon⁵⁾ nimmt an, dass die autokinetischen Empfindungen zum Teil durch Ermüdung der Retina und der Augenmuskeln begünstigt werden.

Ich für meine Person sehe fast nie diese Scheinbewegungen, wenn ich auch im Dunkeln einen helleren Punkt längere Zeit fixiere.

1) Hoppe, Die Scheinbewegungen. Würzburg 1879. Zit. Nagel's Handbuch d. Physiol. Bd. 3 S. 374. 1905.

2) E. v. Fleischl, Physiologisch-optische Notizen. II. Mitteilung. Wiener Sitzungsberichte Bd. 86, III. Abt., Mathem.-naturwissensch. Klasse S. 8 (23). 1882.

3) A. Charpentier, Sur une illusion visuelle. Comptes rendus t. 102 p. 1155 (1156). 1886.

4) S. Exner, Über autokinetische Empfindungen. Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. der Sinnesorgane. Bd. 12 S. 313 (329). 1896.

5) B. Bourdon, La perception visuelle de l'espace p. 334. Paris 1902.

Es kann nicht daran liegen, dass der Punkt etwa zu lichtstark ist, denn andere Beobachter sehen unter den gleichen Bedingungen die Bewegungen. Auch Exner¹⁾ teilt mit, dass zwei Herren aus seinem Laboratorium die Bewegungen nicht wahrnehmen.

Anders ist jedoch die Sache, wenn von Zeit zu Zeit ein Punkt auftaucht und sofort wieder verschwindet. Dabei sieht man (auch für mich überzeugend) schon nach dem ersten Verschwinden den Punkt an einer ganz anderen Stelle des Raumes wieder aufleuchten, als man ihn erwartet hätte. Einmal erscheint der Punkt zu weit nach rechts, ein anderes Mal zu weit nach links verschoben, dann wieder zu hoch oder zu tief ohne irgendeine bestimmte Ordnung. Diese Erscheinung liess sich sehr gut beobachten, wenn die Zeiten, während deren der Punkt unsichtbar war, $\frac{1}{2}$ Sekunde lang waren.

Liess ich den betreffenden Punkt, so oft er auftrat, nicht an der gleichen Stelle stehen, sondern eine gewisse Strecke, im vorliegenden Falle um 4 mm, in einer bestimmten Richtung wandern, etwa nach rechts, dann trat mit unfehlbarer Sicherheit der neue Lichtpunkt scheinbar links von der Stelle auf, an der er erwartet wurde.

Diese scheinbaren Lageveränderungen hingen ab von der Länge der Pausen zwischen dem Aufleuchten des Punktes. Sie begannen sich bemerklich zu machen bei einer Intermittenzzeit von 0,1 bis 0,2 Sekunden und wurden um so deutlicher, je länger die Pausen dauerten.

Diese Versuche wurden so ausgeführt, dass eine Scheibe aus Messingblech von 10 cm Durchmesser, in welche von der Peripherie her in radiärer Richtung 20 $\frac{1}{2}$ mm breite Spalten eingesägt waren, vor einer bald breiten, bald schmalen, von hinten her beleuchteten Öffnung um eine feststehende Achse gedreht wurde. Die Bewegung der Scheibe geschah mittels eines Uhrwerkes, und zwar während einer Beobachtungsreihe mit gleich bleibender Geschwindigkeit. War die von hinten beleuchtete Öffnung breit genug, also wie in dem beschriebenen Falle 4 mm, dann wanderte der sichtbare Lichtpunkt scheinbar von dem Augenblick an, wo der Spalt der Scheibe eben vor die Öffnung zu liegen kam, bis zu dem Zeitpunkte, in welchem er wieder über dieselbe hinaustrat. War die Öffnung hingegen sehr eng, etwa $\frac{1}{2}$ bis 1 mm breit, dann trat nur von Zeit zu Zeit ein Lichtblitz auf ohne wahrnehmbare Bewegung.

Diese Versuche seien nur mitgeteilt als Beispiel, wie man eine ähnliche Empfindung wie die sogenannte autokinetische erzwingen kann.

1) S. Exner, Über autokinetische Empfindungen. Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinn. Bd. 12 S. 313 (318).

Die Erklärung der autokinetischen Empfindung berührt die gegenwärtige Untersuchung nicht, uns kommt es nur darauf an, zu konstatieren, dass für die meisten Personen ein leuchtender Punkt, in einem sonst verdunkelten Raume, wenn er einige Zeit fixiert wird, zu wandern beginnt, und zwar, wie allgemein hervorgehoben wird, sehr langsam und erst mehrere Sekunden nach Beginn der Beobachtung. Diese scheinbaren Bewegungen verhalten sich demnach hinsichtlich ihrer Geschwindigkeit durchaus ähnlich den Bewegungen, welche Aubert im Dunkeln ausführte, und darin liegt der erste Grund für die leichte Verwechslung.

Aubert musste des weiteren, damit von seinen langsamen Bewegungen etwas wahrgenommen werden konnte, längere Zeit beobachten. Je länger man aber einen Punkt beobachtet, um so stärker scheint er sich zu bewegen. Deshalb fand Aubert¹⁾ selbst, dass die Beurteilung viel besser ausfiel, wenn die Bewegung nur 10—15 Sekunden, als wenn sie 100 Sekunden dauerte.

Bei meinen Bewegungen dagegen handelte es sich um kurze rhythmisch ausgeführte Verschiebungen, welche gewöhnlich auch nur sehr kurze Zeit beobachtet wurden. In der Regel genügte schon die Beobachtung während einer Sekunde, um sich ein Urteil zu bilden. Bei dieser kurzen Beobachtungsdauer traten die sogenannten autokinetischen Empfindungen von Aubert so gut wie nie auf. Und wenn ausnahmsweise auch manchmal bei längerer Beobachtung Scheinbewegungen auftraten, dann addierten sich zu den Scheinbewegungen die rasch ausgeführten wirklichen Verschiebungen hinzu, so dass diese kurzen, schnellen Schwankungen auf die langsamen aufgesetzt erschienen. Eine Verwechslung der subjektiv empfundenen und der wirklich ausgeführten Bewegung war also ausgeschlossen.

Das bisher Gesagte dürfte das abweichende Verhalten der Ergebnisse von Aubert und mir in bezug auf die Sicherheit der Beurteilung im Dunkeln erklären.

Um jetzt an die Beantwortung der Hauptfrage zu treten, nämlich wodurch bei meinen im Dunkeln ausgeführten Versuchen überhaupt etwas von Bewegung wahrgenommen werden kann, so sei daran erinnert, dass für gewöhnlich, d. h. ohne Ausschluss von Vergleichsgegenständen, die Empfindung von Bewegung auftritt, wenn

1) H. Aubert, Die Bewegungsempfindung. II. Mitt. Pflüger's Arch. Bd. 40 S. 459 (476). 1887.

das Netzhautbild eines Gegenstandes auf dem Augenhintergrunde sich verschiebt.

Damit diese Empfindung zustande kommen kann, darf sich aber entweder während dieser Zeit das Auge nicht bewegen, oder aber seine Bewegung muss in Anschlag gebracht werden, was in genügender Weise nur möglich ist, wenn wir neben dem bewegten Gegenstand auch Körper sehen, die wir als ruhig annehmen.

Aber auch das Feststellen des Auges kann mit hinreichender Sicherheit nur dadurch geschehen, dass wir in der Nähe befindliche ruhende Gegenstände fixieren, d. h. dass ein bestimmter Bildpunkt sich längere Zeit hindurch auf einem und demselben Netzhautelement abbildet.

Im Dunkeln aber, wo wir nur den bewegten Gegenstand sehen, ist keine dieser beiden Forderungen erfüllt.

Wenn trotzdem relativ kleine Bewegungen erkannt werden, so kann dies nur dadurch geschehen, dass unser Auge infolge des Muskelgefühls für die kurze Zeit, welche zu der Beurteilung der schnellen Verschiebungen nötig ist, ruhig gehalten werden kann.

Einfluss der Häufigkeit der Verschiebungen.

Um festzustellen, bei welcher Frequenz der Verschiebungen die Bewegung am besten erkannt wird, wurde die Handhabe *C* des Hebels *B* (Fig. 2 S. 315) mit einer Marey'schen Aufnahmetrommel in Verbindung gesetzt, so dass jede Verschiebung nach links eine Vergrößerung, eine Verschiebung nach rechts eine Verkleinerung des Innenraums der Kapsel bedingte. Diese Aufnahmekapsel stand nach dem Prinzip der Marey'schen Luftübertragung mit einer Schreibkapsel in Verbindung, welche ihrerseits die Verschiebungen auf einer rotierenden Kymographiontrommel registrierte.

Am Ende jeden Versuches wurden die Zahlen der Kurve, welche den Verschiebungen des Hebels entsprachen und zugleich mit Zeitmarken aufgeschrieben wurden, abgezählt.

Mit dieser Anordnung wurde nun eine längere Versuchsreihe ausgeführt, bei der ermittelt wurde, bei welcher Geschwindigkeit recht kleine Verschiebungen am besten erkannt werden konnten.

Bei diesen Versuchen ergab sich, dass das Optimum der Wahrnehmbarkeit erreicht wurde, wenn der Spalt drei- bis sechsmal in einer Sekunde hin und her geschoben wurde. Bei geringerer Frequenz wurde bei kleinen Exkursionen häufig nichts von Bewegung bemerkt,

während bei zu grosser Frequenz — schon von sieben Verschiebungen in der Sekunde an — gewöhnlich ein unbestimmtes Flimmern auftrat. Auch liess sich unschwer feststellen, dass *ceteris paribus* bei geringerer Frequenz viel länger beobachtet werden musste, bis die Bewegungsempfindung auftrat.

Dass bei grösseren Frequenzen häufig ein unbestimmtes Flimmern auftritt, mag vielleicht mit ein Grund sein, warum Stern¹⁾ bei ähnlichen Untersuchungen „alles Übrige gleichgesetzt, die langsamste Bewegung am deutlichsten“ wahrnahm.

Allerdings ergibt sich aus seiner Tabelle, dass es sich dabei um langsamere Bewegungen als bei mir handelte.

Untersuchung des blinden Fleckes.

Wenn man das ganze Gesichtsfeld auf die Empfindung von Bewegungen untersucht, so findet man natürlich dem blinden Fleck entsprechend ein Gebiet des Gesichtsfeldes, in welchem jede Gesichtsempfindung und somit auch die Wahrnehmung von Bewegungen aufhört.

Nun besteht aber, wie ich schon früher beobachtet hatte, um den eigentlich blinden Fleck herum ein verhältnismässig grosses Grenzgebiet, in welchem die Bewegungen, damit sie wahrgenommen werden können, zwar grösser sein müssen, aber immer noch erkannt werden.

Ich beabsichtigte nun die Art der Abnahme der Sehschärfe für Bewegungen bei Annäherung an das Zentrum des blinden Fleckes zu bestimmen, wobei ich zunächst wie in den früheren Versuchen in der Weise verfuhr, dass in einem vollständig verdunkelten Raume, in welchem nur der Fixationspunkt als Lichtfleck markiert war, ein von hinten her beleuchteter Spalt hin und her bewegt wurde.

Diese Versuchsanordnung erwies sich jedoch als ungeeignet, denn wenn der Spalt auch in die Mitte des blinden Fleckes zu liegen kam, so sah man doch in der Richtung des Spaltes stets einen schwach leuchtenden Schein, dessen Bewegungen man leicht wahrnahm.

Diese Beobachtung deckt sich mit der von Fick und du Bois-

1) W. Stern, Die Wahrnehmung von Bewegungen mittelst des Auges. Zeitschr. f. Psychol. und Physiol. d. Sinnesorg. Bd. 7 S. 321 (347). 1894.

Reymond¹⁾ beschriebenen Erscheinung, dass die Gegend des blinden Fleckes scheinbar aufleuchtet, wenn in seinem Zentrum ein Lichtbildchen von grosser Intensität erzeugt wird.

Auch Helmholtz²⁾ machte ähnliche Beobachtungen, deren Beschreibung und Erklärung er in folgende Worte fasst:

„Ist die Lichtmenge, welche auf die Eintrittsstelle des Sehnerven fällt, bedeutend, so nimmt das Auge allerdings einen schwachen Lichtschein wahr, aber, wie wir aus diesen Versuchen schliessen müssen, nur deshalb, weil ein Teil des Lichtes sich auf die anstossenden Teile der Netzhaut ausbreitet“.

Es muss nun allerdings hervorgehoben werden, dass der von mir verwendete bewegliche Spalt durchaus nicht intensiv beleuchtet war (vgl. Versuchsanordn. S. 314); trotzdem aber scheint auch die geringe Lichtintensität für das dunkeladaptierte Auge vollständig ausreichend gewesen zu sein, um die beschriebene Erscheinung hervorzurufen.

Um deshalb zuverlässige Untersuchungen anstellen zu können, musste die Lichtintensität des Spaltes herabgesetzt oder die Umgebung etwas erleuchtet werden. Der Einfachheit halber wählte ich das letztere, d. h. ich arbeitete nicht im vollständig verdunkelten Raume, sondern nur bei sehr herabgesetzter Lichtintensität.

Zunächst wurde die Abnahme der Sehschärfe für Bewegungen auf der rechten und linken Seite des blinden Fleckes bestimmt. Da die Bewegung von rechts nach links ausgeführt wurde, musste eine Vorsichtsmaassregel angewendet werden, deren Vernachlässigung leicht zu grossen Fehlern Veranlassung geben könnte. Es musste nämlich die Bewegung in der Richtung nach dem blinden Fleck zu ausgeführt werden, denn sonst könnte sich der bewegte Spalt durch seine Bewegung selbst aus dem Gebiete des blinden Fleckes entfernen. Sollte z. B. die Grenze des blinden Fleckes, welche dem Fixationspunkte zuliegt, untersucht werden, dann durfte die Bewegung nur in der Richtung vom Fixationspunkt weg ausgeführt werden.

Bei diesen Untersuchungen ergab sich folgendes. Die Projektion des blinden Fleckes auf eine 2 m vor dem Auge befindliche Wand

1) A. Fick und P. du Bois-Reymond, Über die unempfindliche Stelle der Netzhaut im menschlichen Auge. Arch. f. Anat. und Physiol. 1853 S. 396 (403) und A. Fick's gesammelte Schriften Bd. 3 S. 305 (310). Würzburg 1904.

2) H. Helmholtz, Handbuch der physiol. Optik S. 211. Leipzig 1867.

war von einer 3—5 cm breiten Zone herabgesetzter Erregbarkeit umgeben, einer Breite, die einem Gesichtswinkel von rund $1\text{--}1\frac{1}{2}$ Winkelgraden entspricht.

Die Empfindlichkeit nahm, von der Seite der Macula lutea beginnend, in dem Gebiet des blinden Fleckes immer mehr ab, so dass z. B. an einer bestimmten Stelle des Gesichtsfeldes eine Verschiebung von 4,9 mm noch wahrgenommen wurde. Ging man 1 cm näher gegen die Mitte der Projektion des blinden Fleckes, dann wurde diese Exkursion nicht mehr wahrgenommen, aber eine etwas grössere, also in dem bestimmten Falle 5,6 mm. Nach Verschiebung um einen weiteren Zentimeter wurde eine Exkursion von 10,5 mm gerade noch erkannt; dann 14 mm und zuletzt bei noch grösserem Vordringen in das Gebiet des blinden Fleckes hörte bei beliebiger Vergrösserung der Exkursion jede Wahrnehmung auf.

In der gleichen Weise nahm bei weiterem Vorrücken nach der Peripherie an der anderen Seite des blinden Fleckes die Empfindlichkeit wieder zu.

Die zahlreichen Versuche, die ich über diesen Gegenstand anstellte, waren alle so übereinstimmend, dass die Beobachtungen selbst als einwandfrei betrachtet werden müssen.

Allerdings kann man im Zweifel sein, ob der allmähliche Übergang zur vollständigen Unempfindlichkeit nicht vorgetäuscht ist durch mangelhaftes Fixieren. Denn es bedeutet in der Tat eine grosse Anforderung an die Versuchsperson, einen 2 m entfernten Punkt auf einen Zentimeter genau zu fixieren und gleichzeitig auf Vorgänge zu achten, die sich in nächster Nähe des blinden Fleckes abspielen.

Zusammenfassung der Ergebnisse.

1. Bei Ausschluss aller Vergleichsgegenstände, d. h. im Dunkeln, wurde die seitliche Verschiebung eines von hinten erleuchteten, $\frac{1}{2}$ mm breiten und 5 mm langen senkrechten Spaltes eben noch wahrgenommen, wenn die Bewegung des Netzbautbildes $5,25\ \mu$ betrug, eine Grösse, die einem Gesichtswinkel von 1 Min. 15 Sek. entspricht.

2. Daraus geht hervor, dass die Empfindlichkeit für Bewegungen bei Ausschluss von Vergleichsgegenständen etwa viermal so schlecht ist, als wenn man solche sieht.

3. Von der Macula lutea aus nahm die Sehschärfe für Bewegungen auch im Dunkeln nach allen Richtungen kontinuierlich ab.

4. Die Abnahme der Sehschärfe für Bewegungen von der Fovea nach der Peripherie erfolgte rascher als die der Zapfen der Netzhaut; Demnach besteht kein direktes Verhältnis zwischen der Bewegungsempfindlichkeit der verschiedenen Teile der Netzhaut und der Zapfenzahl an eben diesen Stellen.

5. Während die kleinsten noch wahrnehmbaren Bewegungen eines weissen Papierstreifens bei Tagesbeleuchtung erheblich (häufig zehnfach) überschätzt werden, wurden bei Ausschluss aller Vergleichsgegenstände die Bewegungen nicht für so viel grösser gehalten, offenbar deshalb, weil sehr kleine Bewegungen überhaupt nicht wahrgenommen wurden.

6. Als Erklärung, warum die verhältnismässig schnellen Verschiebungen im vollständig dunklen Raume, sobald sie eine gewisse Grösse erreicht haben, regelmässig erkannt wurden, während Aubert häufig im Zweifel war, ob eine Bewegung stattfand oder nicht, muss man annehmen, dass die Unsicherheit von Aubert daher rührte, dass die Bewegungen mit autokinetischen Empfindungen verwechselt wurden, was bei meinen Versuchen der schnellen Verschiebung und der kurzen Beobachtungszeit wegen ausgeschlossen war.

7. Am besten wahrgenommen wurden Bewegungen bei etwa 3—5 Verschiebungen in der Sekunde.

8. Der blinde Fleck erwies sich als von einer 3—5 ° breiten Zone herabgesetzter Erregbarkeit umgeben, so dass je mehr man sich seinem Zentrum näherte, die Bewegung, um erkannt zu werden, immer grösser werden musste.