

Über die Empfindlichkeit des Auges für Lichtwechsel / von Ernst G. Baader.

Contributors

Baader, Ernst G.
Royal College of Surgeons of England

Publication/Creation

Freiburg i.B. : Chr. Leumann, 1891.

Persistent URL

<https://wellcomecollection.org/works/y6f6pcyt>

Provider

Royal College of Surgeons

License and attribution

This material has been provided by This material has been provided by The Royal College of Surgeons of England. The original may be consulted at The Royal College of Surgeons of England. where the originals may be consulted. This work has been identified as being free of known restrictions under copyright law, including all related and neighbouring rights and is being made available under the Creative Commons, Public Domain Mark.

You can copy, modify, distribute and perform the work, even for commercial purposes, without asking permission.



Wellcome Collection
183 Euston Road
London NW1 2BE UK
T +44 (0)20 7611 8722
E library@wellcomecollection.org
<https://wellcomecollection.org>

C. S. Sherrington

②

ÜBER
DIE EMPFINDLICHKEIT DES AUGES
FÜR LICHTWECHSEL.

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR ERLANGUNG DER

DOCTORWÜRDE

VORGELEGT DER

HOHEN MEDIZINISCHEN FACULTÄT

DER

ALBERT-LUDWIG-UNIVERSITÄT

ZU

FREIBURG IN BADEN

VON

ERNST G. BAADER

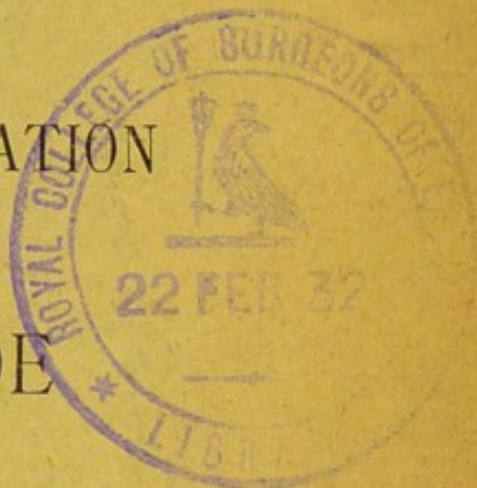
APPR. ARZT

AUS TODTNAU IM WIESENTHAL.

FREIBURG I. B.

UNIVERSITÄTS-BUCHDRUCKEREI VON CHR. LEHMANN.

1891



die Schwankungen bei der Fortpflanzung im Sehapparate wirklich verwischt werden, oder aber dass die Nervenenerregungen wohl auf und abwogen, aber dass sie, weil sie zu klein sind, nicht zum Bewusstsein kommen.

Diese Thatsache, dass diskontinuierliches Licht unter bestimmten Voraussetzungen den Eindruck einer kontinuierlichen Beleuchtung machen kann, ist schon lange bekannt. Schon mehrere Arbeiten sind über diesen Gegenstand veröffentlicht worden. Es sind aber jeweils nur einzelne Fragen erörtert worden und ferner sind die betr. Versuche eben immer nur über eine bestimmte Frage gemacht oder dafür verwertet worden. Der Zweck vorliegender Arbeit ist nun zuerst eine kurze Übersicht der bekannten Thatsachen zu geben und dann nach Erwägung der Faktoren, welche das kontinuierlich Werden intermittierenden Lichtes hervorrufen oder beeinflussen können, über einige Versuche zu berichten, welche über einen Teil der genannten Fragen Aufschluss geben sollten. Da die dabei zur Verwendung gelangten Instrumente und Einrichtungen zum Teil recht komplizierte waren, so wurde zur Orientierung darüber ein Kapitel über dieses nötige Rüstzeug eingeschoben. Es sollte bei der ganzen Arbeit nur der einfachste Fall, dass Weiss und Schwarz, resp. deren Übergänge, die neutralen Grau, abwechseln, berücksichtigt werden, dagegen von verschiedenen Farben vollständig Abstand genommen werden.

I.

Der einfachste und auch zuerst untersuchte Fall eines intermittierenden Lichtes, das den Eindruck einer kontinuierlichen Beleuchtung hervorruft, ist der, dass ein leuchtender Gegenstand z. B. eine glühende Kohle im Kreise herumgeschwungen wird, und zwar mit der nötigen Geschwindigkeit, so dass ein leuchtender Kreis entsteht. Das ist offenbar dann der Fall, wenn die Kohle auf jeden Punkt ihrer Bahn in dem Augenblicke zurückkehrt, wenn der Eindruck ihres vorhergehenden Aufenthaltes ebendasselbst verschwindet. Diesen Versuch hat zuerst d'Arcy benützt, um die Dauer eines Lichteindruckes zu messen. In derselben Absicht hat ihn dann Plateau¹⁾ wieder aufgegriffen, kam aber dann, um damit verbundene Fehlerquellen zu vermeiden, auf ganz andere Methoden der Untersuchung. Insbesondere dehnte Plateau seine Forschungen auf die verschiedenen Farben aus. Er benützte dazu rotierende Scheiben, die er in verschiedene Sektoren einteilte. Diese färbte er nun in den zu untersuchenden Farben, jeweils abwechselnd mit schwarzen Sektoren, und liess die Scheiben rotieren. So bestimmte er die Umlaufgeschwindigkeit und damit die zur Erzeugung kontinuierlicher Empfindung erforderliche Zahl der Unterbrechungen, die Intermittenz-

¹⁾ Poggendorf Annalen XX. 1829. S. 304 ff.

Zahl. Es gelang Plateau so, nach der Dauer der Nachwirkung die Farben in eine bestimmte Reihenfolge zu bringen, so dass Weiss den dauerndsten Eindruck machte, dann Gelb, Rot, Blau kamen. Da in der vorliegenden Arbeit von den Farben vollständig abgesehen werden soll, und vielmehr nur die Intermittenzahlen bei Schwarz-Weiss untersucht werden sollen, sei dies nur beiläufig bemerkt. Von Plateaus Versuchen haben nur folgende zwei für uns besonderen Wert. Er brachte auf einer schwarzen Scheibe weisse Sektoren an und zwar zunächst so, dass die eine Scheibe 6 weisse Sektoren enthielt, die andere 18. Es waren die schwarzen Sektoren der ersten Scheibe 4 mal so breit, als die der zweiten. Und nun konstatierte er, dass die erstere Scheibe eine grössere Geschwindigkeit haben musste als die zweite, um ein gleichmässiges Grau zu liefern. Im zweiten Falle brachte Plateau auf beiden Scheiben eine gleiche Anzahl von weissen Sektoren an, z. B. 8, aber auf beiden verschieden breit. Für diesen Fall fand er nun die Umlaufszeit die gleiche, bei welcher der Eindruck gleichmässig wurde. Da Plateau aus seinen Versuchen nur Schlüsse zum Beweise seines Gesetzes für die Abnahme der Eindrücke zog, das uns hier zu ferne liegt, so seien nur die beiden Thatsachen konstatiert. Die Helligkeit des resultierenden Graus bestimmte Plateau, indem er die rotierende Scheibe mit den schwarzen und weissen Sektoren und eine ganz weisse in verschiedene Entfernung von einem Lichte brachte, bis ihre Helligkeit gleich gross erschien.

In der nächsten Zeit wurden nun die Verhältnisse des intermittierenden Lichtes weiter untersucht und zu diesem Zwecke eine grosse Anzahl verschiedener Instrumente konstruiert. Zunächst waren es verschiedene Kreisel, dann kamen ganz komplizierte Maschinen, wie das Thaumotrop, Phaenakistoskop, Daedaleum u. a.,

deren Prinzip war rotierende Scheiben durch gleichzeitig rotierende Spalten zu betrachten. Man stiess dabei auf ganz auffallende Erscheinungen, die nun weiter verfolgt wurden. Es sollten z. B. einzelne Striche auf diese Art zu Zeichnungen verbunden werden, oder Figuren, welche auf der einen Scheibe verschieden Akte einer Bewegung darstellten, schienen durch die Rotation diese Bewegung wirklich auszuführen. Diese Instrumente sind heute bekanntlich zu wissenschaftlichen, Zwecken weiter vervollkommenet worden (Anschütz Schnellseher). Am besten ausgebildet und in allen Teilen genau berechnet war schliesslich das Anorthoskop Plateaus. Diese Untersuchungen waren alle in den Jahren 1830—1840. Man kam aber dadurch vom Studium der eigentlichen Flimmererscheinungen ganz ab.

Die erste prakt. Anwendung suchte TALBOT zu machen, indem er das durch Rotation erworbene, leicht zu messende Grau als Mass benützte, die Helligkeit anderer Körper zu bestimmen.

EMSMANN ¹⁾ nahm die Versuche Plateaus wieder auf, gelangte aber zu etwas anderen Resultaten. Einmal glaubte er die von Plateau gefundene Reihenfolge der Farben dahin abändern zu müssen, dass er Gelb anstatt Weiss an die erste Stelle setzte. Doch zog er mit Plateau denselben Schluss aus den gefundenen Resultaten dass z. B. für Blau, das die geringste Schnelligkeit der Umdrehung bedarf um homogen zu werden, der Eindruck am langsamsten abnehme. Doch hebt HELMHOLTZ ²⁾ hervor, dass der Vergleich der verschiedenen Farben keinen besonderen Wert beanspruchen darf, da ein Mittel ihre scheinbare Helligkeit gleich zu machen fehlt, die Helligkeit aber einen sehr grossen

¹⁾ Poggendorf, Annalen XC. 1853. S. 611.

²⁾ Physiol. Optik von Helmholtz, 1867. S. 344.

Einfluss auf die Dauer der Nachwirkung hat. Wird z. B. eine Flamme einer nicht mehr flimmernden, rotierenden Scheibe genähert, so fängt diese wieder an zu flimmern.

Die erste zusammenhängende Übersicht über das kontinuierlich Erscheinen hinreichend schnell wiederholter Lichteindrücke gab HELMHOLTZ in seiner *Physiol. Optik* von 1867, S. 336 ff. Nachdem er im Allgemeinen über die uns bekannten Entdeckungen berichtet hat, wobei auch Plateau sein Gewährsmann ist, stellte er ein Gesetz über die scheinbare Helligkeit einer rotierenden Scheibe auf und formulierte es so. „Wenn eine Stelle der Netzhaut von periodisch veränderlichem und regelmässig in derselben Weise wiederkehrenden Lichte getroffen wird, und die Dauer der Periode hinreichend kurz ist, so entsteht ein kontinuierlicher Eindruck, der dem gleich ist, welcher entstehen würde, wenn das während einer jeden Periode eintreffende Licht gleichmässig über die ganze Dauer der Periode verteilt würde“.

Was speziell unseren Fall von rotierenden schwarzen und weissen Sektoren betrifft, so findet HELMHOLTZ, dass eine solche Scheibe 24—30 mal in der Sekunde rotieren muss, um einen gleichmässigen Eindruck zu machen. Dabei bestätigt er Plateaus Angabe, dass das Verhältniss zwischen der Breite der weissen und schwarzen Sektoren verändert werden kann, ohne dass die Umlaufszeit beeinflusst wird. Dagegen wenn man die Zahl der Sektoren ändert, so ändert man auch damit die Umlaufszeit. HELMHOLTZ hat sich eine Scheibe konstruiert, mit 3 concentrischen Ringen; der innerste Ring zeigt die halbe Peripherie Weiss, die andere Hälfte Schwarz. Im mittleren Ringe sind 2 Viertel weiss, im äusseren ebenso 4 Achtel, der Rest ist schwarz. Dabei findet nun HELMHOLTZ, dass das Schwarz und

Weiss der 8 Faktoren des äussersten Ringes sich schon bei 6 Umläufen der Scheibe zu gleichmässigem Grau verbinden, das des mittleren Ringes erst bei 12, das des innersten erst bei 24 Umläufen. Das würde für alle drei Fälle eine Intermittenzzahl von 24 geben. Ferner hebt HELMHOLTZ hervor, dass die Umlaufgeschwindigkeit desto grösser gemacht werden muss, je grösser die Lichtstärke ist, da die Helligkeit einen sehr grossen Einfluss auf die Dauer der Nachwirkung hat.

EXNER¹⁾ bestätigte gelegentlich seines Beweises für die retinale Entstehung der positiven Nachbilder die Angabe von HELMHOLTZ, dass eine häufiger als 24 mal in der Sekunde erfolgte Erregung der Netzhaut durch objectives Licht nicht mehr discontinuierlich empfunden werde, während elektrische Reizung des Bulbus, 60 mal, noch diskontinuierliche Lichtempfindung erzeugt. Er stützte sich dabei auch auf Versuche mit der Rotation von schwarzen und weissen Sektoren.

FILEHNE²⁾ kam zu ganz anderen Resultaten. Zunächst war es ihm gelungen durch objektives elektrisches Licht in Geissler'schen Röhren bis zu 70 Funken in der Sekunde noch diskontinuierlich zu empfinden. Und als er dann die Versuche mit den rotierenden Scheiben wieder aufnahm, so fand er auch hier dasselbe Untersuchungsvermögen wie für elektrisches Licht unter folgenden Bedingungen: Die von HELMHOLTZ gefundene Zahl von 24 Unterbrechungen treffe wohl zu für 2—8 schwarze und weisse Sektoren, aber mit zunehmender Sektorenzahl steige auch die nötige Intermittenzzahl erst langsam, dann sehr schnell. Schon bei 16 und 24 ist die Intermittenzzahl etwa 45 und 60. Von da an

¹⁾ Repertor. der Physik XX. S. 344.

²⁾ Gräfes Archiv für Ophthalmologie 31. Jahrgang 1885 „Über den Entstehungsort des Lichtstaubes, der Starrblindheit und der Nachbilder.

steigt sie langsamer und erreicht bei etwa 48 bis 60 Sektoren ihr nun nicht mehr überschreitbares Maximum von etwa 75. FILEHNE findet ferner innerhalb gewisser Grenzen gleiche Intermittenzzahl bei verschiedener Helligkeit des produzierten continuierlichen Grau, dagegen aber, dem Gesagten gemäss, verschiedene Intermittenzahlen bei gleicher Helligkeit des entstehenden Grau je nach der Zahl der Sektoren, 25 bei Quadranten 75 bei Sektoren von 6°. Nun, führt FILEHNE aus, unterscheiden sich diese Fälle durch ihre verschiedene Winkelgeschwindigkeit. Je grösser die Winkelgeschwindigkeit, um so mehr nimmt die Normalzahl von 75 ab, zuerst langsam, dann schneller, dann wieder langsam bis zu einem unüberschreitbaren Minimum von etwa 25 p. Sec. FILEHNE kommt zu dem Schlusse: Je plötzlicher die neue Farbe erscheint, um so langsamer klingt sie an, um so langsamer die vorhergehende ab. Ferner führt er an, dass bei geringerer Geschwindigkeit die simultanen Contraste an der Grenzlinie Zeit haben sich zu entwickeln und so die Diskontinuität begünstigen.

ADOLF FICK ¹⁾ bezweifelt auf Grund mathematischer Berechnungen die Richtigkeit des HELMHOLTZ'schen Gesetzes über die mittlere Helligkeit rotierender Scheiben. Seine Versuche waren derart eingerichtet, dass er die Helligkeit verschiedener Grau durch Vergleich mit weissem Carton bestimmte, der aus verschiedener Entfernung beleuchtet wurde. Wenn er dann dieselben Grau auch mit rotierenden Scheiben mass durch den jeweiligen Winkel des weissen Sektors, so fand er dass das intermittierende Licht stärker wirkt, als das HELMHOLTZ'sche Gesetz angiebt. Nur im untersten Teile

¹⁾ Reichert's und Du Bois-Reymond's Archiv für Anatomie, Physiologie und wissenschaftl. Medizin: „Über den zeitl. Verlauf der Erregung in der Netzhaut. 1863. S. 739.

der Helligkeitsskala hatte sich das Verhältniß umgekehrt. FICK versuchte nun weiter sowohl das Anklingen als auch das Abklingen der Lichtempfindung graphisch darzustellen und konstruierte sich, zum Teil auf seine gefundenen numerischen Werte gestützt, zum Teil nach Wahrscheinlichkeitsgründen, für beide eine Kurve und fand so eine gewisse Analogie heraus zwischen der Erregung der Retina und der elektrischen Erregung eines motorischen Nerven, insbesondere in Beziehung auf das Latenzstadium im Beginne der Einwirkung des betreffenden Reizes. Doch versuchte FICK selbst nicht sein Ergebnis über den Wert einer Hypothese hinauszuhoben.

II.

Bei diesem Rückblicke hat, abgesehen von den dabei berührten Erklärungsversuchen einerseits und den aus den Erscheinungen gezogenen Schlüssen anderseits, jedenfalls die Thatsache sich ergeben, dass die Grenze des Flimmerns nicht in jedem Falle durch dieselbe Frequenz der Intermittenzen erreicht wird. Da nun die verschiedenen Autoren zu zum teil sich widersprechenden Resultaten gekommen sind, und da ferner manches unerklärt blieb, dürfte es sich empfehlen zu untersuchen, welche Dinge überhaupt von Einfluss auf die Grenze des Flimmerns sein können, um dann einen jeden dieser Faktoren methodisch zu untersuchen.

1. Als erste Thatsache wollen wir die in's Auge fassen, dass die mittlere resultierende Helligkeit von Einfluss auf die Intermittenzzahl ist. Wenn wir z. B. hören, dass die Sehschärfe direkt abhängig ist von der Beleuchtungsintensität, und zwar in einem ganz bestimmten Verhältnis zu ihr steht, wie es UHTHOFF¹⁾

¹⁾ Uhthoff. Verhandl. der Physiolog. Gesellschaft zu Berlin im Archiv für Anatomie und Physiologie 1885. „Über das Verhältnis der Sehschärfe zur Beleuchtungsintensität.“

dargethan hat, so erscheint es von vornherein schon wahrscheinlich auch für unseren Fall ähnliche Beziehungen annehmen zu dürfen. Der genannte Autor stellte diese Verhältnisse durch Kurven dar, für die er sowohl bei den einzelnen Untersuchten eine grosse Regelmässigkeit als auch im Vergleiche mit anderen eine deutliche Übereinstimmung fand. Wenn wir bei dem einfachen Falle der rotierenden Scheiben bleiben, so kann die resultierende Helligkeit zunächst dadurch variiert werden, dass man die Winkelsumme der weissen Sektoren variiert. Nun haben wir gesehen, dass die Angabe Plateaus, man könne das Verhältnis zwischen der Breite der weissen und schwarzen Sektoren ändern, ohne dass die Umlaufszeit beeinflusst würde, von HELMHOLTZ bestätigt wurde. Auch FILEHNE fand diese Angabe für alle Intermittenzzahlen gültig. Dabei darf aber der Versuch Plateaus nicht vergessen werden, dass bei 18 weissen Sektoren auf der einen schwarzen Scheibe, und 6 ebenso breiten weissen Sektoren auf einer andern Scheibe, die Intermittenzzahl für erstere grösser ist als für letztere ¹⁾. Da sich hiebei jedoch auch die Sektorenzahl änderte, so kann dieser Versuch nicht einwandfrei hierher bezogen werden, wie denn auch FILEHNE ihn für seine Lehre über die Abhängigkeit der Intermittenzzahl von der Sektorenzahl angezogen hat. Wir werden weiter unten bei Gelegenheit der über diese Frage angestellten Versuche auf diese Angabe PLATEAU-HELMHOLTZ zurückkommen. Hier sei nur die Thatsache konstatiert. Man kann aber die resultierende Helligkeit z. B. auch dadurch ändern, dass man mit schwarzen Sektoren Grau von verschiedener Lichtstärke rotieren lässt. Über die Resultate derartiger Versuche werden wir im Zusammenhange zu berichten haben.

[¹⁾ Plateau, Poggend. Annalen 1830. XX. S. 315.

2. Eine weitere Möglichkeit der Beeinflussung der Intermittenzzahl ist durch die Grösse des Unterschiedes gegeben bei gleicher mittlerer Helligkeit. Diese Frage wurde wenigstens nach den uns vorliegenden Berichten noch nicht berührt. Es erscheint sehr wahrscheinlich, dass eine Combination von Schwarz und Weiss, welche zwei gerade entgegengesetzte Empfindungen hervorrufen, länger diskontinuierlich empfunden wird, als die Combination zweier Grau, die vielleicht nur geringe Unterschiede ihrer Helligkeit aufweisen. Die Resultate der darüber angestellten Versuche bestätigen diese Vermutung auch vollständig. Hier wäre auch die Frage zu erörtern, ob die Art der Unterschiede von Einfluss ist, mit andern Worten, ob die Intermittenzzahl für die verschiedenen Farben eine verschiedene ist. Wir haben früher gesehen, dass Plateau und nach ihm Emsmann diese Frage in bejahendem Sinne gelöst haben. Die Erklärung fanden diese beiden Autoren darin, dass die Geschwindigkeit der Abnahme des Eindrucks bei den verschiedenen Farben eine verschiedene sei und zwar im umgekehrten Verhältnisse ihrer Lichtstärken.

3. Ferner könnte man nach Analogie anderer bekannter Thatsachen vermuten, dass die Grösse der Gesichtsfelder von Einfluss auf die Intermittenzzahl sei. So ist z. B. die Möglichkeit und die Genauigkeit der Bestimmung von Helligkeits- oder Farbenunterschieden in deutlicher Weise von der Grösse des Gesichtsfeldes abhängig. Oder aus anderen Gebieten, in der Akustik z. B. nimmt die Sicherheit der Bestimmung der Höhe eines Tones bedeutend mit der Dauer desselben ab. In wiefern sich diese Vermutung bewahrheitet, und

welche Methoden zur Untersuchung angewandt wurden, soll um Wiederholungen zu vermeiden, in einem späteren Abschnitte im Zusammenhang besprochen werden.

4. Schon oben war der Versuch Plateaus erwähnt, dass bei 18 weissen Sektoren auf der einen Scheibe und 6 ebenso breiten auf der andern Scheibe die Intermittenzzahl für die erstere grösser sei. FILEHNE deutete dieses Resultat für seine Ansicht, dass mit zunehmender Sektorenzahl die Intermittenzzahl zunehme. Er fand in der weiteren Verfolgung dieser Frage diese Zunahme ganz gesetzmässig und fasste dies in ein Gesetz zusammen, über das wir schon oben berichtet haben, mit Schwankungen der Intermittenzzahl von 25—75. Also auch die Zahl der Sektoren ist bei der Erklärung der verschiedenen Intermittenzahlen in Betracht zu ziehen. Die Erklärung dieser Abhängigkeit dürfte nur in der Geschwindigkeit der Konturenbewegung zu finden sein. FILEHNE machte auch die Geschwindigkeit, mit der die Trennungslinie einer schwarzen und weissen Strecke sich auf der Retina bewegt, verantwortlich für die verschiedene Intermittenzzahl bei verschieden vielen Sektoren. „Je plötzlicher die neue Farbe erscheint, um so langsamer klingt sie an.“ FICK nimmt in seinem oben erwähnten Aufsätze „Über den zeitlichen Verlauf der Erregung in der Netzhaut“ an, dass wenigstens bei kleinen Sektoren nicht nur die Breite sondern auch die Geschwindigkeit von Einfluss auf die Stärke der Lichtempfindung sei, und damit nach dem früher gesagten auch auf die Intermittenzzahl. Eine weitere Frage, ob die Art der Konturenbewegung von Einfluss sei, ob z. B. eine scharfe Trennungsgrenze zwischen Hell und Dunkel vorbeiziehe, oder ob das Gesichtsfeld immer gleichzeitig verdunkelt oder erhellt würde, wird weiter unten ihre Berücksichtigung finden.

5. Zum Schlusse wäre noch folgender Möglichkeit zu gedenken. Wenn ich eine Scheibe, halb weiss halb schwarz rotieren lasse und mit einem Rohre, durch das ich die Scheibe betrachte, ein sehr kleines Stück ausschneide, so ist mein Gesichtsfeld abwechselnd ganz hell oder ganz schwarz. Die Trennungslinie bewegt sich immer in derselben Richtung. Wenn ich mehrere Sektoren habe, die nicht so breit sind wie mein Gesichtsfeld, so habe ich neben einander hell und dunkel, aber in nicht zu kleinen Abständen, und die Trennungslinien bewegen sich auch in derselben Richtung. Wenn ich dagegen die ganze Scheibe betrachte, so bewegen sich unter dem Mittelpunkt und über demselben, ebenso rechter- wie linkerseits die Trennungslinien in umgekehrter Richtung. Es ist nun fraglich, ob diese Verhältnisse nicht die Wahrnehmung der Diskontinuität beeinflussen, mit anderen Worten, ob die Art der Verteilung der sich aufhellenden und verdunkelnden Felder auf der Netzhaut für unsere Frage auch in Betracht kommt. Mittelst einer besonderen konstruierten Scheibe, die weiter unten beschrieben ist, wurde wohl ein extremer Fall herausgegriffen, um wenigstens im Allgemeinen orientiert zu sein.

III.

Was nun die Ausführung der über diese Fragen angestellten Versuche betrifft, so lässt sich deren Beschreibung am besten mit der der dabei verwandten Vorrichtung zusammen geben. Wir scheiden bei diesen zweckmässig die zur Erzielung des Flimmerns nötigen Rotationsmaschinen und die zur Registrierung gebrauchten Apparate von den Objecten der direkten Beobachtung, welche das intermittierende Licht ausstrahlten.

Die erste Rotationsmaschine, welche in Anwendung kam, war ein Uhrwerk, welches durch verschiedene Zahnradübertragungen in der Axe, welche die rotierenden Scheiben trug, die nötige Geschwindigkeit erzielte. An dem einen Zahnrade war an der Axe ein Excenter angebracht, mit einem der Axe parallelen Stifte, der bei jeder Umdrehung eine Metallfeder einmal eben berührte. Diese Feder war erst in radialer Richtung angebracht, aber weil hier bei grösserer Geschwindigkeit die Eigenschwingungen störend eingriffen, wurde sie tangential befestigt. Durch eine solche Berührung wurde ein Kontakt hergestellt, der für einen Moment einen Strom schloss, wodurch in einem mit dieser Feder in Verbindung stehenden Pfeil'schen Chronographen ein einmaliger Ausschlag bewirkt wurde. Dieser Ausschlag wurde auf einem geschwärzten rotierenden Cy-

linder aufgeschrieben. Dieser Cylinder wurde durch ein Gewichtsuhrwerk in Bewegung gesetzt. Aus seinem Umfang und seiner Umlaufszeit war zuerst seine Geschwindigkeit bestimmt worden zu 0,8 cm p. Sek. Aus der Zahl der Registrierungen auf einer bestimmten Anzahl von Millimetern wurde deren Zahl für die Sekunde leicht berechnet. Da aber die Geschwindigkeit des Cylinders eine sehr ungleichmässige war, wurde für die Zeitrechnung ein Metronom eingeführt, welches gleichzeitig direkt unter die Registrierungen des Uhrwerkes die Zeitschreibung anbrachte durch einen Strom, der einen ähnlich dem ersten gebauten Chronographen in Bewegung setzte. Dieser Strom wurde durch ein Daniell'sches Element erzeugt, während sonst Grove'sche Elemente in Anwendung kamen. Die Handhabung der ganzen Einrichtung war nun so, dass der Cylinder in Bewegung gesetzt wurde gleichzeitig mit dem Metronom in dem Momente in dem die Scheiben auf dem oben beschriebenen Uhrwerke zu rotieren anfangen. Der oben erwähnte Registrierstrom blieb unterbrochen und wurde erst geschlossen, wenn bei zunehmender Geschwindigkeit das Flimmern aufhörte, um gleich wieder geöffnet zu werden, und ebenso wenn das Flimmern bei wieder abnehmender Geschwindigkeit wieder anfing. Dadurch wurde dann die Zahl der Umdrehungen, welche das mit dem excentrischen Stifte versehene Rad im Momente der Flimmergrenze ausführte auf dem Cylinder notiert. Nun war aus dem Verhältnis der Zähne an den Rädern des Uhrwerkes bekannt, dass das Rad mit den Scheiben sich 8 mal drehte, während das registrierende Rad einmal. Ferner konnte man aus den Registrierungen des Metronoms ablesen wie viele Millimeter des Cylinders in der Sekunde in einem jeden Momente vorbei gezogen waren und so aus der Zahl der Registrierungen in einer gemessenen Strecke leicht die Zahl der Um-

drehungen berechnen in dem Momente, indem das Flimmern aufhörte, resp. wieder anfieng.

In dieser Einrichtung traten aber im Verlaufe der Versuche viele Verbesserungen ein. So wurde statt des Uhrwerkes eine Rotationsmaschine angewendet, welche durch eine kleine Turbine getrieben wurde. Im Verlaufe des Wasserschlauches war in leicht erreichbarer Entfernung vom Sitze des Beobachtenden ein Hahn angebracht, mittelst dessen die Turbine bequem nicht nur in Thätigkeit gesetzt, sondern auch in ihrer Geschwindigkeit reguliert werden konnte. Auf diese Weise konnte die Schnelligkeit des Anlaufens resp. Ablaufens der Rotationsmaschine ja nach Bedürfnis kleiner gemacht werden, wodurch die Sicherheit in der Bestimmung der Grenze des Flimmerns wuchs. Bei der alten Maschine konnte durch schwere Metallscheiben dieser Zweck nur unvollständig erreicht werden. Die Übertragung von dem Rade an dem der Contact angebracht war, zu dem Rade, das die Scheiben trug, fand bei der neuen Einrichtung durch eine Schnur statt, und das Verhältniss der Radien der in Betracht kommenden beiden Räder war derart, dass die rotierenden Scheiben 5,9 Umdrehungen machten während das Rad, an dem der Contact angebracht war, einmal sich drehte. Nur bei einer einzigen Bestimmung -- es handelte sich um Scheiben mit sehr vielen Sektoren -- war es notwendig den Contact am Rade mit den Scheiben anzubringen.

Ferner wurde statt des grossen rotierenden Cylinders, der durch Gewichte in Bewegung gesetzt worden war und durch seinen grossen Umfang immer noch einen besondern Tisch beansprucht hatte, ein kleiner rotierender Cylinder, ein Rothe'sches Uhrwerk, angewandt, der bequem auf dem Tische Platz hatte und durch ein Uhrwerk bewegt wurde. Abgesehen von der äusseren grösseren Bequemlichkeit hatte dieses Werk den grossen Vorzug,

dass es ganz im Gegensatze zu seinem Vorgänger einen gleichmässigen ruhigen Gang zeigte. Die grössere Handlichkeit hatte noch den weiteren Vorteil, dass das Uhrwerk erst dann in Gang gesetzt werden konnte, wenn es nötig war, d. h. wenn das Flimmern aufhörte, und so konnte eine grössere Anzahl von Bestimmungen auf einem Cylinderumfange angebracht werden. Statt des alten Metronoms wurde eine Stimmgabel vorgezogen, die in der Sekunde gerade 30 Schwingungen machte, und somit 30 Unterbrechungen in der Sekunde auf die berusste Fläche schrieb. Zur Erzeugung der beiden registrierenden Ströme waren zwei Chromsäureelemente im Gebrauch, welche auch den Vorzug grösserer Bequemlichkeit hatten. Im Verlaufe der beiden Stromleitungen waren zwei Schlüssel eingeschaltet, mittelst derer der Strom jederzeit nach Belieben unterbrochen werden konnte. Die Leitungsdrähte des einen Stromkreises liefen also vom Elemente zur Rotationsmaschine, wo der Contact eingeschaltet war, von da zum Schlüssel, vom Schlüssel zum Elemente zurück; in dem Verlauf des anderen war anstatt der Rotationsmaschine die Stimmgabel eingeschaltet. Die Handhabung war dann die gleiche wie die bei der ersten Einrichtung beschriebene, mit Ausnahme des oben angegebenen Fortschrittes in der Handhabung des Rothe'schen Uhrwerkes. Auf dem Cylinder schrieben die zwei Chronographen auf zwei parallelen Linien gleichzeitig auf. Die eine dieser Linien zeigte die Schwingungen der Stimmgabel, von denen je dreissig die Strecke der rotierenden Fläche bezeichneten, die in einer Sekunde vorbeigezogen war. Auf der anderen Linie bezeichneten die Registrierungen je einen Stromschluss durch den Contact an der Rotationsmaschine. Zur Erläuterung der Berechnung diene folgendes Beispiel: die 30 Notierungen der Stimmgabel = 1 Sekunde, waren verteilt auf 12 mm. Der

andere Chronograph hatte auf 6 mm. 1 Strich aufgeschrieben. Also kamen auf 12 mm. = 1 Sekunde 2 Striche. Es machte demnach das Rad, an dem der Kontakt angebracht war 2 Umdrehungen in der Sekunde, und diesen entsprachen 2·5,9 Umdrehungen der rotierenden Scheiben. Also machten diese in dem Momente des Schlusses des registrierenden Stromes d. h. des Aufhörens des Flimmerns 11,8 Umdrehungen. Wenn also z. B. 2 weisse und 2 schwarze Sektoren rotierten so war die Gesuchte Intermittenzzahl **23,6**.

Was die Art und Weise betrifft, wie das intermittierende Licht erzeugt wurde, so war der einfachste Fall der, dass eine Scheibe rotierte, welche zur Hälfte weiss, zur Hälfte schwarz war. In der weiteren Ausbildung in der Versuchsreihe waren es dann Grau von verschiedener Helligkeit, welche kombiniert wurden. Dabei war natürlich zunächst das Hauptaugenmerk darauf zu richten, dass es sowohl reines Weiss und Schwarz als auch neutrale Grau waren, d. h. solche Grau, welche sich durch Mischung von reinem Weiss und Schwarz in verschiedenen Mengenverhältnissen erzeugen liessen. Ich verdankte der Güte von Herrn Prof. v. KRIES eine Reihe von grauen Papieren, welche Herr Prof. EBBINGHAUS in Berlin zu ähnlichen Zwecken sich hergestellt hatte. An diesen Papieren hatte ich einen Massstab, an dem ich die Güte meiner eigenen Papiere messen konnte. Nach einer Reihe von Versuchen kam ich zu dem Resultate, als reinstes Schwarz einen eigens herausgesuchten Sammt, als reinstes Weiss ein Papier anzunehmen, welches mit einer Mischung von ungefähr 0,2 Ocker auf 10,0 des käuflichen Zinkweisses bemalt war. Als bestes Schwarz, welches dem Sammt am nächsten kam, fand ich folgende Mischung der im Handel käuflichen Farben: 1,5 des trocknen Kernschwarzes gemischt mit 7,5 des feuchten in Tuben ver-

packten Beinschwarzes mit Zusatz von 0,5 Chromgrün. Die Farben wurden jeweils auf einer ebenen Glasplatte mit einem Glasfarbenreiber verrieben, mit Wasser gemischt bis sie eben noch tropfbar flüssig waren und dann mit einem Pinsel auf mittelkörniges Zeichenpapier aufgetragen, so dass ein möglichst gleichmässiger Farbenton erzielt wurde. Ich zog im Gegensatz zu Hr. Prof. EBBINGHAUS, der sehr feinkörniges Papier verwandte, gröber gekörntes vor, auf welchem sich leichter ein gleichmässiger Ton erzielen liess. Zur Helligkeitsbestimmung eines Graus wurden die oben erwähnten Weiss und Schwarz benützt, und die Helligkeit in Graden des Weiss angegeben, welche mit schwarzem Sammt kombiniert bei der Rotation ein Grau von derselben Helligkeit lieferten. Die Messung wurde so ausgeführt, dass eine Scheibe des zu bestimmenden Grau von z. B. 5 cm. Radius aufgesetzt wurde auf eine Scheibe Schwarz und Weiss von vielleicht 10 cm. Radius. Diese war so eingerichtet, dass eine ganz weisse und eine ganz schwarze Scheibe in einem Radius aufgeschnitten, ineinander geschoben und übereinander verschiebbar waren, so dass jede beliebige Combination hergestellt werden konnte. Auf dieselbe Weise war auch die Reinheit der gemalten Grau untersucht worden. Wenn man nun die gegeneinander nicht verschieblichen Scheiben rotieren liess, so erhielt man 2 leicht vergleichbare Grau. Mit den auf diese Weise für gut befundenen und ihrer Helligkeit nach bekannten Scheiben wurde ein Teil der Versuche angestellt.

Eine weitere Methode, sich intermittierendes Licht herzustellen war folgende. Auf dem schwarzen Sammt, der möglichst glatt aufgehängt war, damit etwaige Falten keinen Glanz zeigten und so das gleichmässige Schwarz störten, war ein weisses Papierstück von ca. 1 □ cm. Inhalt befestigt. Dieses Papier war beleuchtet

einerseits von dem durch Vorhänge geschwächten Tageslicht, anderseits wurde durch eine Convexlinse das Bild einer leuchtenden Öffnung darauf geworfen. Diese leuchtende Öffnung war ein rundlicher Ausschnitt in einem Thoncylinder, der über eine Gasflamme gestülpt war. Dieses von der Lampe ausgehende Licht wurde nun regelmässig unterbrochen, indem vor der Linse 2 Sektorenausschnitte rotierten, welche aus starkem Carton ausgeschnitten und beiderseits geschwärzt waren, und so während ihres Vorüberganges kein Licht auf den Fleck gelangen liessen, während durch ihre Zwischenräume dasselbe ungehindert das Beobachtungsfeld beleuchtete. Dieses unterbrochene Licht konnte nun in seiner Stärke durch bei der Linse eingeschobene Diaphragmen variiert werden. Das weisse Papierquadrat, welches so intermittierendes Licht ausstrahlte, wurde einmal durch ein Rohr betrachtet, um die das Auge störende Nebenbeleuchtung abzuhalten, ein anderesmal durch ein Fernrohr, um ausserdem noch die Grösse des Feldes ändern zu können.

Diese Änderung der Feldgrösse wurde, um dies hier im Anschluss gleich zu bemerken, auch noch auf andere Weise ermöglicht. Rotierende schwarze und weisse Sektoren wurden durch ein Rohr betrachtet, in welches im Abstände von 10 cm. vom Auge, Blenden von verschiedener Öffnung eingesetzt waren. Aus den bekannten Durchmesser dieser Blendenöffnungen und ihrer konstanten Entfernung vom beobachtenden Auge konnte leicht das Grössenverhältnis der Gesichtsfelder, bzw. die betreffenden Gesichtswinkel berechnet werden.

Anstatt ein weisses Papier zu beleuchten, wurde bei anderen Versuchen die leuchtende Öffnung selbst betrachtet oder das Spiegelbild derselben in einem Plan-Spiegel.

Die brauchbarste Einrichtung hatte ich schliesslich

in einem Lichtmischapparate gefunden, der folgendermassen eingerichtet war. Es war ein viereckiges innen geschwärztes Messinggehäuse ca. 26 cm. lang, 6,5 cm. breit und 7 cm. hoch. An der einen Schmalseite war ein kleines Ansatzrohr mit einer runden Öffnung für das beobachtende Auge. An der gegenüberliegenden Seite war ein Ansatzrohr, das durch ein Milchglas abgeschlossen war. Auch die eine Längsseite zeigte dasselbe mit Milchglas abgeschlossene Ansatzrohr. Im Innern des Instrumentes selbst nun war eine Glasplatte derart schräg angebracht, dass sie Lichtstrahlen, welche von dem Milchglas an der Längsseite herkamen, in der Richtung nach der Öffnung für das beobachtende Auge spiegelte. Der Gang der Lichtstrahlen in dem Instrumente war also derart, dass die von dem gerade gegenüberliegenden Milchglas, das wir als leuchtendes Objekt zunächst betrachten, kommenden Strahlen direkt durch die schräge Glasplatte hindurch in das Auge gelangten, zum Teil aber auch reflektiert wurden, und so für das Auge verloren gingen. Von den von dem Milchglas an der Längsseite kommenden Strahlen ging der unreflektiert durchgehende Teil verloren, während der geringere reflektierte Teil in das Auge gelangte. Es wurde gelegentlich eine Helligkeitsbestimmung der beiden Componenten des resultierenden Lichtbildes gemacht, indem in diesem Bilde die eine Hälfte nur von der einen Lichtquelle beleuchtet wurde, die andere Hälfte von der anderen. Dies wurde so erreicht, dass an dem einen Milchglas die eine Hälfte durch geschwärzten Carton abgeblendet wurde, an dem zweiten Milchglas die andere. Es wurde nun die Entfernung der beiden Lampen, welche die betr. Milchgläser beleuchteten, so gewählt, dass die beiden Gesichtsfelderhälften gleich hell erschienen. Es stellte sich hiebei heraus, dass dies, der Fall war, wenn die Lampe des gespiegelten Lichtes

welches wir Zusatzlicht nennen wollen, in 40 cm. Entfernung vom Milchglase stand, während die Lampe des anderen Lichtes, mit gleich hoher Flamme, also auch annähernd gleicher Lichtstärke in 150 cm. Entfernung stand. Da alle diese Versuche und Bestimmungen mit dem Lichtmischapparate in einem vollständig verdunkelten Zimmer mit schwarzen Wänden gemacht wurden, ist dabei ein Fehler durch Nebenbeleuchtung als sicher auszuschliessen. Mit diesem Lichtmischungsapparate konnten nun zweierlei Versuche angestellt werden. Einmal wurde nur das nicht reflektierte Licht benützt, das andere Milchglas blieb ganz dunkel. Es wechselten also in dem genannten Falle, wenn ich vor dem Milchglas geschwärzte Cartonsektoren rotieren liess, ganz dunkel ab mit dem von einer Lampe beleuchteten Milchglas. Durch grössere und kleinere Entfernung der Lichtquelle konnte diese Helligkeit und damit auch die mittlere resultierende Helligkeit variiert werden. In der zweiten Versuchsreihe, wenn auch das zweite, seitliche Milchglas beleuchtet wurde, welches das reflektierte Licht aussandte, wurden die Unterbrechungen in der gleichen Weise vor diesem angebracht. Es wechselten also in diesem Falle von beiden Lampen beleuchtete Flächen mit solchen ab, die nur von dem ersten nicht reflektierten Lichte erhellt wurden, mit anderen Worten, es wurde hier einem konstanten Lichte in regelmässig periodischer Wiederholung ein Zusatzlicht zugesetzt und so der Eindruck des Flimmerns hervorgerufen. Wenn nun durch geeignete Entfernung der beiden Lampen die mittlere resultierende Helligkeit gleich gemacht wurde, so handelte es sich nur um die Differenzen der beiden Lichter, die abwechselten und welche im Verhältniss zur Gesamthelligkeit messbar waren.

IV.

Wenn wir nun zu den Resultaten übergehen der Versuche, welche zur Orientierung über einige der aufgestellten Fragen vorgenommen wurden, so müssen wir zunächst die Thatsache konstatieren, dass die dabei gefundenen Intermittenzahlen im allgemeinen bedeutend höhere sind als die in früheren Veröffentlichungen angegebenen. Sie schwanken ja sehr nach der Art und Weise wie die Versuche angestellt wurden. Ist doch schon die Helligkeit des resultierenden homogenen Lichtes in den einzelnen Fällen eine ganz verschiedene. Doch wurde mit Sicherheit bei einer Intermittenzahl von 24—30 bei der Rotation von schwarzen und weissen Sektoren das Flimmern noch wahrgenommen, während HELMHOLTZ z. B. diese Zahl als Grenze der Wahrnehmung bezeichnete. Es wurden, wenn wir denselben, einfachsten, Fall beibehalten wollen, dass schwarz und weiss mit einander abwechseln, Intermittenzahlen bis 70 gefunden. Beiläufig sei noch bemerkt, dass mit der Zahl der Versuche auch die Sicherheit der Wahrnehmung zugenommen hat. Dies drückt sich dadurch aus, dass die Schwankungen zwischen den einzelnen Bestimmungen im Laufe der Zeit immer kleiner wurden. Wenn im folgenden Intermittenzahlen angegeben sind, so sind das immer Durchschnittzahlen aus einer grösseren

Reihe von Bestimmungen. Um etwa während der Versuche eingetretene Veränderungen, wie Ermüdung der Augen, Änderungen der Beleuchtung u. s. w. nicht einseitig einen Teil der zu vergleichenden Bestimmungen beeinflussen zu lassen, wurden diese in wechselnder Reihenfolge vorgenommen; wenn die Bestimmungen z. B. erst in der Reihenfolge 1. 2. 3. 4. gemacht waren, wurden sie in der Folge 4. 2. 3. 1. wiederholt oder in ähnlicher Weise. Es sollen nun im Folgenden die Versuche in derselben Reihenfolge besprochen werden, wie früher die betreffenden Fragen gestellt waren.

1) Da war nun die erste Frage, ob und in welchem Umfange die resultierende mittlere Helligkeit die Intermittenzzahl beeinflusse. HELMHOLTZ hatte betont, dass die Helligkeit von grossem Einflusse wäre. Wenn er dann einen Versuch Plateaus als richtig bestätigt, dass 8 schmale weisse Sektoren dieselbe Intermittenzzahl wie 8 breite weisse hätten, wobei doch entschieden die resultierende Helligkeit variiert ist, so scheint dies ein Widerspruch zu sein. Doch wäre dieser vielleicht dahin zu lösen, dass eine stärkere Beleuchtung im ersteren Falle den Ausfall ersetzte, oder dass die Gesammthelligkeit eine derart grosse war, dass die im Verhältnis dazu geringe Änderung keinen merklichen Unterschied herbeiführte. Es wäre aber schliesslich auch nicht unmöglich, dass HELMHOLTZ annimmt, dass das durch intensivere Beleuchtung hervorgerufene Helligkeitsmaximum des Weiss die Intermittenzzahl beeinflusse, nicht aber die resultierende mittlere Helligkeit. Doch ist keine dieser Lesarten aus dem eben nicht deutlich gehaltenen Texte zu beweisen. Die über diese Frage angestellten Versuche haben sich von bescheidenen Anfängen zu ziemlicher Vollkommenheit entwickelt. Zuerst wurde auf ein weisses Papier, das auf schwarzem Sammt befestigt war, durch eine Linse das Bild einer Licht-

quelle geworfen. Dieses durch Diaphragmen variable Licht konnte durch rotierende Sektoren zu einem intermittierenden gemacht werden. Die dabei gefundenen Resultate bestätigen wohl qualitativ die gemachte Annahme, quantitativ konnten sie dagegen nicht verwertet werden. Es wurden nämlich diese Versuche noch im alten physiolog. Institute vorgenommen, wo im Versuchszimmer kein vollständiges Dunkel hergestellt werden konnte, während das später im neuen Institutsgebäude, bei den Versuchen mit dem Lichtmischapparat vollständig der Fall war. So war damals wohl das unterbrochene Licht zu messen, aber das nicht ganz auszuschliessende Tageslicht bildete stets einen unbekannten Faktor in der Rechnung. Auffallend klein waren die gefundenen Unterschiede in den Intermittenzahlen, sie bewegten sich nur zwischen 32,04 und 27,4. Dies ist wohl so zu erklären, dass die Verhältnisse der Beleuchtungsstärken nicht in sehr grossem Umfange variiert wurden. Abgesehen davon war die Grösse des beobachteten Feldes eine geringe; vielleicht hinderte dieser Umstand eine genauere Wahrnehmung. Ein darüber angestellter Orientierungsversuch schien das zu bestätigen. Denn wenn ich das Feld durch ein Fernrohr betrachtete, wodurch es sehr vergrössert wurde, so bewegten sich die Zahlen zwischen 32,16 und 21,09. Dieser Gedanke wurde in anderer Weise weiter verfolgt und wird seine Berücksichtigung an späterer Stelle finden. Gute brauchbare Resultate lieferten die Versuche mit den rotierenden Scheiben. Das Prinzip war, mit reinem Schwarz, d. i. Sammt, Grau von verschiedener Helligkeit zu kombinieren, 180° , und die Intermittenzahlen der verschiedenen Combinationen zu bestimmen. Die verwendeten Grau entsprachen in der bei der Technik besprochenen Weise berechnet, 14° , 40° , 65° , 133° , 210° , 297° , 360° , Weiss.

Die für die einzelnen Scheiben gefundenen Inter-
mittenzahlen waren folgende:

	Helligkeit des mit Schwarz rotierenden Grau (reines Weiss = 360)	Resultierende Helligkeit	Intermit- tenzzahl	Zahl der Be- stimmungen
I.	360	180	71,72	21
II.	297	148,5	67,28	19
III.	210	105	60,29	31
IV.	133	66,5	56,62	42
V.	65	32,5	54,11	21
VI.	40	20	52,30	24
VII.	14	7	42,6	12

Dabei zeigte es sich also, dass im unteren Teile der Helligkeitsskala geringere Änderungen wie z. B. von 40 auf 14 stärkere Ausschläge geben als bei grösserer Helligkeit ungefähr 3 mal so starke Änderung.

In der vollständigsten Weise führten die Versuche mit dem Lichtmischapparate zum Ziele. Es wurde dabei nur das nicht reflektierte Licht benützt und in der im Kapitel der Technik beschriebenen Weise unterbrochen. Die verschiedenen Helligkeiten wurden durch die verschieden grosse Entfernung der beleuchtenden Flamme erzielt, wie sie in der Zusammenstellung der Resultate angegeben sind. Die Lampe wurde möglichst in gleicher Höhe gehalten, ev. diese reguliert, so dass dadurch in Verbindung mit der wechselnden Reihenfolge der Versuche ein Fehler mit ziemlicher Sicherheit vermieden wurde. Auffällig ist, dass dabei auch bei der grössten anwendbaren Helligkeit die Intermittenzahl 50 nicht mehr überschritten wurde, während bei der Beobachtung rotierender Scheiben Intermittenzahlen bis 70 gefunden wurden. Der Grund für diese Thatsache mag in der Helligkeit liegen, die bei diesen Ver-

suchen eben mit dem Tageslichte der anderen nicht verglichen werden kann, oder in der geringen Feldgrösse. Die gefundenen Resultate waren folgende:

	Entfernung der Lampe	Ungefähre Lichtstärke	Intermittenzzahl	Zahl der Bestimmungen
I.	320 cm.	1	18,96	26
II.	160 cm.	4	24,38	25
III.	75 cm.	18	29,84	41
IV.	23 cm.	193	41,31	53
V.	7,5 cm.	1800	50,24	37

Dass mit der letzten Bestimmung ungefähr die Grenze erreicht war, wurde durch einen Versuch bewiesen, bei dem eine zwischen die Lampe und das Milchglas eingeschobene Convexlinse dieses gleichmässig erhellte. Es wurde dabei eine nur unbedeutend höhere Zahl, nämlich 50,29, in 36 Bestimmungen gefunden. Auch die untere Grenze mit 18,96 Intermittenzen konnte nicht mehr überschritten werden; es gelang nicht mit einer geringeren Helligkeit die Grenze des Flimmerns mit Bestimmtheit anzugeben. Wenn wir die gefundenen Resultate graphisch darstellen in Gestalt einer Kurve, indem wir die Lichtintensitäten als Abscissen, die Intermittenzahlen als Ordinaten auftragen, so steigt diese Kurve bei schwachen Intensitäten sehr steil an, um dann, wenn eine gewisse Höhe erreicht ist, nur noch langsam anzusteigen. Diese so gefundene Linie hat eine sehr grosse Ähnlichkeit mit der von UTHOFF für die Sehschärfe gefundene Kurve, bei der auch die Lichtintensitäten als Abscissen, die entsprechenden Sehschärfen als Ordinaten abgetragen sind, und die ganz dieselben Verhältnisse zeigt.

2. Die nächste Frage war die nach der Abhängigkeit der Intermittenzzahl von der Grösse der Unterschiede bei gleicher resultierender Helligkeit. Auch

hierüber wurden sowohl mit den rotierenden Scheiben als auch mit dem Lichtmischapparate Versuche angestellt. Die Versuche mit den Scheiben waren derart eingerichtet, dass die resultierende Helligkeit immer annähernd gleich der war, welche aus 180° Weiss und 180° Schwarz bei der Rotation resultierte. Es waren dabei eben Grenzen gesetzt durch den Vorrat an brauchbaren Grau, der bei genauer Untersuchung sehr zusammengeschmolzen war. Die folgende Zusammenstellung ist ohne weiteres verständlich. Die erste Rubrik enthält die kombinierten Sektoren mit ihrem Helligkeitsmasse bezeichnet, die zweite Rubrik den Helligkeitswechsel in Prozenten der resultierenden Helligkeit ausgedrückt. Daran schliessen sich die gefundenen Intermittenzzahlen, sowie die Zahl der Bestimmungen:

Helligkeiten der kombinierten Sektoren	Helligkeitswechsel in Prozent der resultierenden Helligkeit	Intermittenzzahl	Zahl der Bestimmung
360 und 0 = 180	200%	70,37	50
297 und 65 = 181	128%	62,43	82
258 und 102 = 180	87%	59,45	86
226 und 133 = 179,5	52%	57,90	91
210 und 148 = 179	34%	57,74	49

Es ist also sehr deutlich zu ersehen, dass die erforderlichen Intermittenzzahlen mit der Grösse des Lichtwechsels, und zwar bei gleicher resultierender Helligkeit zunehmen, wenn auch nicht sehr erheblich. Sie stiegen von 57,74 auf 70,37. Der Helligkeitswechsel beträgt im äussersten Falle 200% der resultierenden Helligkeit, im geringsten nur 34%. Mit geringeren Differenzen liessen sich keine Versuche mehr anstellen, da dabei die Flimmergrenze nicht mehr mit Bestimmtheit angegeben werden konnte. Die mit dem Lichtmischapparate vorgenommenen Untersuchungen ergaben Ähnliches. Es wurde zunächst nur das Zusatzlicht ver-

ändert, als welches das seitlich einfallende und reflektierte Licht benützt wurde. Da hierbei das direkt gesehene, von der hinteren Öffnung kommende Licht in gleicher Stärke blieb, so änderte sich auch die resultierende Helligkeit. Gleichwohl sind die Versuche doch geeignet eine Vorstellung von den betreffenden Vorgängen zu geben, da die Änderungen keine grossen sind; es sei deshalb gestattet, sie hier auch anzuführen. Von den in der Zusammenstellung gebrauchten Benennungen dürfte wohl nur die Rubrik Helligkeit einer Erläuterung bedürfen. Es ist nämlich damit die Helligkeit für den betreffenden Lampenabstand bezeichnet, die Helligkeit bei 40 cm. Abstand der Zusatzlampe resp. 150 cm. Abstand des konstanten Lichtes, die ja wie früher angegeben, gleich gefunden worden waren, gleich Eins gesetzt. In der Rubrik Helligkeitswechsel ist der Unterschied angegeben, zwischen dem von beiden Lampen beleuchteten Felde und dem nur von einer Lampe erhellten, die ja mit einander abwechseln und zwar wieder in Prozenten der resultierenden Helligkeit ausgedrückt. Es folgen dann nur noch die gefundenen Intermittenzahlen und die Zahl der Bestimmungen, welche den betr. Mittelwert geliefert haben.

Intermittierendes Licht Abstand der Lampe in cm.	Helligkeit	Constantes Licht Abstand d. Lampe in cm.	Helligkeit	Resultierende Helligkeit	Helligkeitswechsel in % d. resultier. Lichts	Intermittenz-Zahl
I. 80 cm.	0,25	75 cm.	4	4,125	6%	15,05 [17]
II. 40 cm.	1	75 cm.	4	4,5	22%	24,17 [31]
III. 20 cm.	4	75 cm.	4	6,0	67%	29,93 [29]
VI. 10 cm.	16	75 cm.	4	12	133%	34,28 [16]

Der dieser Versuchsreihe anhaftende Fehler, dass der Einfluss der sich ändernden Gesammthelligkeit nicht ausgeschlossen werden konnte, wurde nun in folgendem vermieden. Der Abstand der das konstante Licht liefernden Lampe wurde jeweils so gewählt, dass die resultierende Gesammthelligkeit die gleiche blieb. Die Bezeichnungen der folgenden Zusammenstellung blieben dieselben wie in der vorigen. Beim 4. Versuche wurde das unreflektiert durchgehende Licht vollständig abgeblendet; die mittlere resultierende Helligkeit blieb aber dieselbe:

Intermittierendes Licht. Abstand der Lampe in cm.	Helligkeit	Con-stantes Licht. Abstand d. Lampe in cm.	Helligkeit	Resultierende Helligkeit	Helligkeitswechsel	Intermittenz-Zahl
I. 80 cm.	0,25	75 cm.	4	4,125	6%	15,96 [25]
II. 40 cm.	1	79 cm.	3,625	4,125	24%	26,02 [26]
III. 20 cm.	4	103 cm.	2,125	4,125	97%	29,81 [24]
IV. 52 cm.	8,25			4,125	200%	35,14 [13]

Es kann also bei diesen Versuchen durch Variirung des Wechsels die Intermittenzzahl auf etwas mehr als das Doppelte gesteigert werden, indem der Wechsel von circa 6% auf 200% erhöht wird. Das Ergebnis ist qualitativ das gleiche wie bei den Scheiben, nur noch deutlicher, weil der Wechsel auf einen wesentlich kleineren Betrag vermindert werden konnte, auf 6% gegen 39% bei den Scheiben.

3) Was die Frage nach dem Einflusse der Grösse des Gesichtsfeldes betrifft, so haben wir schon des einen Versuchs Erwähnung gethan, welcher bei Beobachtung eines mit intermittierendem Lichte beleuchteten weissen

Papieres mit freiem Auge und dem vergrößerndem Fernrohr für eine derartige Abhängigkeit gedeutet werden konnte. Direkt geprüft wurde die Frage durch nachstehende Versuche. Es wurden aus grösseren schwarz-weißen Scheiben durch ein Beobachtungsrohr mit variabler Blendung verschieden grosse Felder herausgeschnitten. Die Resultate waren folgende:

Durchmesser der Blende	Grösse des Gesichtsfeldes in Graden	Intermittenzzahl
21 mm.	12°	57,43
16,5 mm.	9,5°	55,38
12 mm.	7°	56,67
4,5 mm.	2,5°	50,25

Es scheint sich hieraus die Thatsache zu ergeben, dass jedenfalls innerhalb ziemlich weiter Grenzen die Grösse des Gesichtsfeldes nicht von Einfluss ist, dass sie aber von Bedeutung werden kann, wenn sie sehr klein wird.

4) Es kam nun als nächster Punkt die Frage nach der Abhängigkeit der Flimmergrenze von der Art und der Geschwindigkeit der Konturenbewegung. Was das erstere betrifft, ob die Art der Konturenbewegung von Einfluss sei, so wurde zunächst untersucht, ob bei gleichzeitiger Verdunkelung des ganzen Gesichtsfeldes die Intermittenzzahl eine andere wäre, als wenn eine scharfe Grenze über das Gesichtsfeld ginge. Ich fand für den ersteren Fall in 25 Bestimmungen eine Intermittenzzahl von 80,04 für den zweiten eine solche von 77,62, wobei aber diese beiden Gebiete bei den einzelnen Versuchen in einander eingriffen, so dass die Frage jedenfalls verneint werden kann.

Was die Geschwindigkeit der Konturenbewegung anlangt, so liegen uns hier die oben angeführten Angaben FILEHNES vor. Die Versuche, die ich darüber angestellt habe, können natürlich ebenso wenig wie

die vorigen über die Feldgrösse, Anspruch auf erschöpfende Genauigkeit machen, sondern nur eine allgemeine Orientierung ermöglichen. Der Hauptunterschied beruht auch in dieser Frage darin, dass die von mir gefundenen Zahlen eben höhere sind. Zunächst konnte ich mit dem Lichtmischapparate für 1 Sektor eine Intermittenzzahl von 33,29, für 4 Sektoren eine solche von 33,86 finden, was mit FILEHNES Angaben vollständig übereinstimmt, der auch für 2—8 Faktoren keinen Unterschied fand. Ein weiterer Versuch mit 16 weissen und 16 schwarzen Faktoren, der erst mit einer gemalten, dann mit einer aus weissem Carton ausgeschnittenen derartigen Scheibe vor schwarzem Sammt angestellt wurde, stiess auf grosse Schwierigkeiten. Wenn nämlich die weissen Sektoren nicht ganz gleichmässig waren, oder einmal zu nahe standen, wenn es auch bei blosser Betrachtung nicht auffiel, so kam damit eine Intermittenz von der Periode der Umdrehung hinein. So fand ich bei den ersten Versuchen für Scheiben mit 2 Sektoren und solchen mit 16 die gleiche Umlaufszeit, was eine ungeheuer hohe Intermittenzzahl bedeutet hätte. Es gelang jedoch schliesslich aus dünnerem Carton eine brauchbare Scheibe auszuschneiden, indem die Winkel sorgfältig mit einem Transporteur abgetragen wurden und aussen, um ein Verschieben zu verhindern, ein Ring stehen blieb. Mit diesen Scheiben nun fand ich für 2 Sektoren eine Intermittenzzahl von 61,18, für 15 Sektoren eine solche von 121,72, wobei der Contact wegen der geringen Zahl der Umdrehungen am oberen Rade angebracht werden musste. Es scheint dieser Versuch jedenfalls eine Abhängigkeit der Intermittenzzahl von der Zahl der Sektoren darzuthun. Auch bei FILEHNE war mit der gleichen Vermehrung der Sektoren die Zahl auf etwa das Doppelte gestiegen. Damit sind die Angaben FILEHNES wenigstens im Principe

bestätigt, dass mit der Zahl der Sektoren auch die Intermittenzzahl zunimmt. Worin der Grund liegt, ist zunächst nicht anzugeben; ob die Geschwindigkeit der Konturenbewegung das massgebende ist, wie es FILEHNE annahm, oder ob die grosse Nähe sich aufhellender und verdunkelnder Felder auf der Netzhaut die Veranlassung ist, das blieb zunächst noch eine offene Frage.

5) Was schliesslich diese letzte Frage anlangt, d. i. die Verteilung der sich aufhellenden und verdunkelnden Felder auf der Netzhaut, so konnte darüber eine bestimmte Antwort nicht gewonnen werden. Wenn ich eine Scheibe mit 4 schwarzen und 4 weissen Sektoren einmal ganz betrachtete, wobei also die Konturen oberhalb und unterhalb der Mitte in umgekehrter Richtung liefen, so fand ich dieselbe Intermittenzzahl, wie wenn ich mit einem Rohre nur ein Gesichtsfeld aus einer Hälfte ausschnitt, wo die Konturen in derselben Richtung liefen. Auch mit den 16 Sektoren wurde ein diesbezüglicher Versuch angestellt. Ich schnitt aus dem Beobachtungsrohre ein so kleines Versuchsfeld aus, dass nur ein Sektor in dasselbe fiel, also auch im ganzen Gesichtsfelde hell und dunkel abwechselten, und fand eine Intermittenzzahl von 123,64 gegen 121,72 wenn nahe beieinander hell und dunkel in demselben Gesichtsfelde abwechselten. Es würde dieses Resultat nun allerdings dafür sprechen, dass bei vielen Sektoren die langsamere Konturenbewegung die Ursache der höheren Intermittenzzahlen ist.

Im Hinblick auf die Möglichkeit, dass bei der Benützung sehr zahlreicher Sektoren die nahe Benachbarung gleichzeitig sich aufhellender und verdunkelnder Felder die Ursache der hohen Intermittenzzahlen sei, so wurde ferner folgender Versuch gemacht:

Ich teilte die ganze Scheibe in concentrische Ringe von 5 mm. Breite und färbte von jedem die halbe

Cirkumferenz schwarz, doch abwechselnd, so dass z. B. beim äussersten Ringe die linke Hälfte schwarz ist beim nächsten die rechte u. s. w. Wenn diese Scheibe rotiert, so habe ich auf jeder Stelle meiner Retina ganz nahe bei einander sich aufhellende und verdunkelnde Felder. Ich fand nun für diese Scheibe eine Intermittenzzahl von 50,57 wobei die einzelnen Bestimmungen ganz gut übereinstimmten. Die Sache hatte aber folgende Bedenken: Es war trotz aller Bemühung nicht gelungen die Ringe so zu malen, dass die Grenzen stets scharf ohne kleine Unebenheiten waren; ferner zählten die Bleistiftstriche, die der Zirkel gezogen hatte, zu den schwarzen Feldern, waren zum Teil auch wirklich übermalt. Infolge dieser Fehler war eben die Beobachtung keine reine. Es erschien die Scheibe bei der nötigen Geschwindigkeit auch nicht gleichmässig grau, wie zu erwarten gewesen wäre, sondern in einem grauen Ton, auf welchem in regelmässigen Abständen schwarze und weisse Ringe liefen, die ihre Ursache eben in den Fehlern der Scheibe hatten. Wenn wir auch annehmen müssen, dass diese Fehler das Resultat beeinflusst haben, so können wir es trotzdem mit einem gewissen Vorbehalt für unseren Zweck verwerten. Denn wenn durch diese Fehler eine Intermittenz von einer anderen Periode hineinkam als die beabsichtigte, so konnte sie nur von der Periode der Umdrehung sein, also keinesfalls ein früheres Auftreten der kontinuierlichen Empfindung herbeiführen. Wenn diese aber trotzdem früher auftrat, so müssen wir eben daraufhin die oben gestellte Frage verneinen. Ja, im Gegenteil, wenn wir vorbehaltlich etwaiger Irrtümer infolge der Fehler der Scheiben aus dem Resultat einen Schluss ziehen wollten, so könnte es nur der sein, dass die grosse Nähe kleiner sich aufhellender und verdunkelnder Felder auf der Netzhaut das Auftreten einer kontinuierlichen Empfindung be-

günstigt, dass hierbei also die Kleinheit der Netzhautbilder im Vergleich zu dem früher im ganzen Gesichtsfelde stattgehabten Wechsel von bestimmendem Einflusse wäre.

Wenn wir zum Schlusse eine kurze Übersicht über die gefundenen Resultate geben dürfen, so war die erste Frage nach der Abhängigkeit der Flimmergrenze von der resultierenden Helligkeit. Wir konnten eine solche konstatieren und zwar nahm die Intermittenzzahl bei einer geringen Beleuchtungsintensität mit geringen Helligkeitssteigerungen sehr rasch zu, um dann, wenn eine bestimmte Grenze erreicht war, nur wenig mehr zuzunehmen. Die aus diesen Resultaten konstruierte Kurve war sehr ähnlich der von UTHOFF für die Sehschärfen bei zunehmender Beleuchtungsintensität gefundenen Kurve. Der zweite Punkt war die Variierung der Unterschiede bei gleich bleibender resultierender Helligkeit. Auch hiebei gelang es die Intermittenzzahlen mit grösseren Unterschieden zu höheren Beträgen zu steigern. Eine bestimmte Gesetzmässigkeit war nicht zu konstatieren. Bei der Frage nach der Grösse der Felder konnte nur konstatiert werden, dass bei sehr kleinen Feldgrössen die Flimmergrenze eher erreicht wurde, während bei grösseren Feldern ein ziemlich weiter Spielraum ohne merkliche Beeinflussung gefunden wurde. Ferner wurde FILEHNES Resultat, dass mit der Zahl der Sektoren auch die Intermittenzzahl zunehmen, bestätigt, dabei aber die Frage nach dem Grunde noch offen gelassen. Was schliesslich die Art der Verteilung sich aufhellender und verdunkelnder Felder auf der Netzhaut betrifft und ihren Einfluss auf die Intermittenzzahlen, so berechtigten die Versuche vielleicht zu Vermutungen darüber, aber zu keinem Schlusse.

Ich betrachte es als meine Pflicht auch an diese Stelle Hrn. Prof. v. KRIES für die Anregung zu dieser Arbeit, sowie die mir während derselben in so reichlichem Maasse zuteil gewordene Unterstützung mit Rat und That meinen besten Dank auszusprechen.

