

(Aus dem Physiologischen Institut zu Freiburg i. B.)

## Ueber den Einfluß der Adaptation auf die Erscheinung des Flimmerns.

Von

Dr. M. SCHATERNIKOFF aus Moskau.

(Mit 3 Fig.)

Unter den Thatsachen, die sich auf die Erscheinung des sogen. Flimmerns bei Reizung des Sehorgans mit intermittirendem Licht beziehen, dürfte die bekannteste die sein, daß mit steigender Intensität des intermittirend einwirkenden Lichtes die Frequenz der Unterbrechungen eine immer größere werden muß, wenn das Flimmern aufhören und die Empfindung eine stetige sein soll. Dagegen ist meines Wissens noch durch keine directen Beobachtungen geprüft worden, ob ähnlich wie die Stärkevermehrung der Lichtreize auch die Erregbarkeitssteigerung des Sehorgans durch Dunkeladaptation wirksam wird. Bei den meisten auf die Erscheinung des Flimmerns bezüglichen Untersuchungen ist vielmehr auf die Adaptation überhaupt nur wenig oder gar keine Rücksicht genommen worden. Bei den Versuchen von POLIMANTI<sup>1</sup> wurde Sorge getragen, das Auge dauernd in möglichst gut helladaptirtem Zustande zu erhalten. Ich folgte daher gern dem Vorschlag von Herrn Prof. v. KRIES, den Einfluß der Adaptation auf die Erscheinung des Flimmerns zu untersuchen; und zwar wurde dabei ausschließlich die Frage ins Auge gefaßt, in welcher Weise die für Erzeugung einer stetigen Empfindung erforderliche Frequenz der Intermission (sie mag im Folgenden die Verschmelzungsfrequenz heißen) durch die Adaptation beeinflusst wird. Auch wurden die Ver-

<sup>1</sup> Diese Zeitschrift 19, S. 263.

suche durchweg auf den einfachsten Modus intermittirender Beleuchtung beschränkt: es wechselten niemals zwei verschiedene Lichter ab, sondern immer nur Licht mit völligem Lichtabschluß und zwar so, daß Einwirkung und Abschluß des Lichtes gleich lange dauerten.

Es erschien aus theoretischen Gründen geraten (und erwies sich dann auch durch die Befunde als nützlich), die Bedingungen der Versuche zunächst so zu gestalten, daß, im Sinne der Stäbchenhypothese gesprochen, nur der Dunkelapparat des Auges ins Spiel kommen sollte, die Lichtstärken also so zu wählen, daß sie für den Zapfenapparat unter der Schwelle blieben. Wie dies im Einzelnen controlirt wurde, wird noch anzuführen sein. Ich schicke zunächst einige Bemerkungen über die technische Einrichtung meiner Versuche voraus.

Die von mir benutzte Versuchsanordnung schloß sich in den meisten Beziehungen der von POLIMANTI zu seinen flimmerphotometrischen Untersuchungen angewandten<sup>1</sup> an.

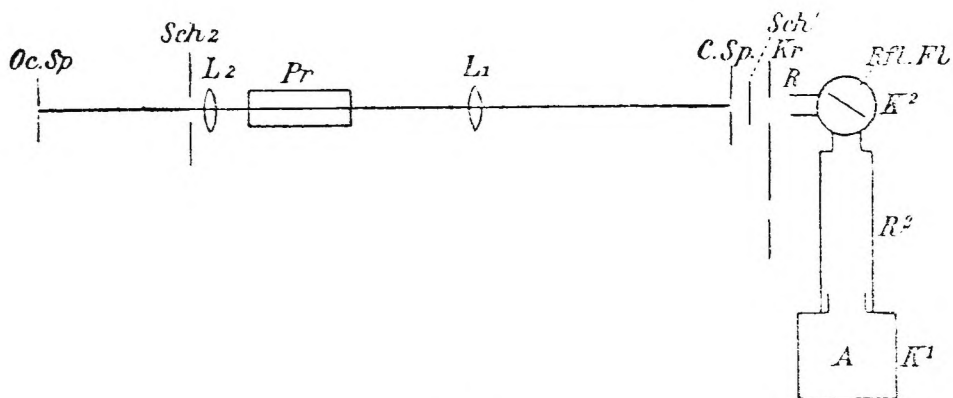


Fig. 1.

Schema der Versuchsanordnung.

(Erklärung im Text.)

Ich bediente mich desselben geradsichtigen Spectralapparates<sup>2</sup> (Fig. 1), dessen Objectivlinse ( $L_2$ ) bei Betrachtung durch den Ocularspalt ( $OcSp$ ) je nach Einstellung des Collimatorrohres von einem beliebigen homogenen Licht erleuchtet war. Ein schwarzes Cartonblatt ( $Sch_2$ ) mit einer runden Oeffnung versehen, wurde dicht vor der Linse ( $L_2$ ) angebracht und liefs von der erleuchteten Fläche derselben ein rundes Feld von 18 mm Durchmesser un-

<sup>1</sup> Dr. O. POLIMANTI. Ueber die sogenannte Flimmer-Photometrie. *Diese Zeitschrift* 19, S. 265.

<sup>2</sup> In Bezug auf genauere Beschreibung des Spectralapparates selbst und dessen Graduirung kann ich mich, um die Wiederholung zu vermeiden, auf die eben erwähnte Arbeit von POLIMANTI berufen.

bedeckt. Der Abstand des Ocularspaltes von der Linse betrug 180 mm, so daß das unbedeckte Feld unter dem Winkel von  $5,7^\circ$  gesehen wurde. Ueber diesem Feld war ein kleines Glühlämpchen befestigt, welches in einer mit punktförmiger Oeffnung versehenen Cartonhülse eingeschlossen war. Dieses Lämpchen zum Rothglühen gebracht diente als Fixirmarke.

Als Lichtquelle diente ein in einer lichtdichten Blechlaterne ( $K^1$ ) eingeschlossener Auerbrenner ( $A$ ). Das auf ein in einer lichtdichten Blechdose ( $K^2$ ) eingeschlossene weiße Papierblättchen ( $RfFl$ ) fallende Licht wurde von demselben in der Richtung des Collimatorspaltes ( $CSp$ ) reflectirt. Auf dem Wege des Lichtes zwischen der reflectirenden Fläche und dem Collimatorspalte wurde eine Scheibe aus schwarzem ( $Kr$ ) Papier angebracht, die in Rotation versetzt werden konnte und die in einer den Durchmesser des Rohres  $R^1$  übertreffenden Zone 4 Ausschnitte von  $45^\circ$  besaß.

Es ist kaum nöthig zu erwähnen, daß bei solcher Anordnung und bei geringer Weite des Collimatorspaltes das Hell- resp. Dunkelwerden des beobachteten Feldes momentan vor sich gingen, d. h. der Einfluss der Conturenbewegungen war ganz ausgeschlossen.

Zum Schluss der Beschreibung der Versuchsanordnung ist es nöthig noch hinzuzufügen, daß zwischen rotirender Scheibe ( $Kr$ ) und Collimatorspalte ( $CSp$ ) ein vermittels eines Hebels mit dem Anker eines Elektromagneten verbundenes Cartonblättchen ( $Sch^1$ ) aufgestellt wurde. Dasselbe unterbrach bei freiem Anker den Lichtzutritt zum Collimatorspalt, der also nur beim angezogenen Anker (Stromschliessung) stattfand. Diese Unterbrechung des Lichtzutrittes war deswegen wünschenswerth, weil sie gestattete, vor jeder einzelnen Beobachtung das Auge auf die Fixirmarke einzustellen, um erst dann durch Schluss des Elektromagnetenstromes und Entfernung des auf dem Wege des Lichtes stehenden Schirmes zur Beobachtung selbst überzugehen.

Was den Versuch selbst anbetrifft, so war sein Gang der folgende:

Nachdem das Auge durch ein 10—15 minutenlang dauerndes Anschauen des Himmels gut helladaptirt worden war, merkte der Beobachter die Zeit an, schloß die Läden und bestimmte von dieser Zeit an gerechnet nach Zwischenpausen von 5, 10, 15 u. s. w. Minuten die Zahl der für continuirliche Empfindung



erforderlichen Lichtwechsel. Die ganze Aufgabe lief darauf hinaus, dem Elektromotor, der den Kreisel in Rotation brachte, diejenige Geschwindigkeit mitzutheilen, bei welcher das Flimmern eben aufhörte. Bekanntlich hat POLIMANTI bei seinen Untersuchungen diese Aufgabe in der Weise zu lösen versucht, daß er dem Elektromotor eine überschüssig große Geschwindigkeit mittheilte und dann durch abwechselndes Oeffnen und Schließen des Stromes die Geschwindigkeit des Elektromotors in der Art regulirte, daß sie sich eben an der Grenze des Flimmern-aufhörens hielt. POLIMANTI sagt: „sobald das Flimmern aufgehört hat, wird der Strom geöffnet, die Geschwindigkeit nimmt allmählich ab, und man schließt den Strom wieder, sobald das Flimmern bemerkbar wird. Eine an dem Kreisel angebrachte Unterbrechungsvorrichtung zeichnete mit Hülfe eines Registrirmagneten die Umdrehungen auf eine BALTZAR'sche Trommel auf; so konnte der Mittelwerth der in obiger Weise normirten Geschwindigkeit hinterher leicht festgestellt werden“.<sup>1</sup>

Anfangs versuchte ich dasselbe Regulierungsverfahren des Elektromotors anzuwenden; bald aber habe ich mich überzeugt, daß dasselbe keine besondere Vortheile vor der Regulirung mit Hülfe der Widerstandsänderung besitzt. Es ist nämlich leicht, durch das Variiren des Widerstandes diejenige GröÙe desselben zu finden, bei welcher die Geschwindigkeit des Elektromotors eben ausreichte, um das Flimmern zum Verschwinden zu bringen. Unbedeutender Zuwachs des Widerstandes zieht sofort das Auftreten des Flimmerns nach sich. Andererseits hatten die Versuche gezeigt, daß der Elektromotor die ihm einmal mitgetheilte Geschwindigkeit längere Zeit unverändert behält; daher wurde nach der Feststellung der erforderlichen Geschwindigkeit und nach der Controlirung derselben, die Schreibvorrichtung für einige Secunden in Gang gesetzt, wodurch die Umdrehungen auf der Kymographiontrommel aufgezeichnet wurden. Auf dieselbe Kymographiontrommel wurde durch eine Secundenuhr die Zeit aufgetragen, so daß es nachher leicht war, unter Berücksichtigung der Räderübersetzung des Kreisels die für das Aufhören des Flimmern nöthige Zahl der Umdrehungen pro Secunde auszurechnen.

Bei meinen Versuchen habe ich mich auf die Bestimmung

---

<sup>1</sup> l. c. S. 279.



der Intermittenzzahlen folgender Lichter beschränkt: erstens des Li-Lichtes ( $670,8 \mu\mu$ ), zweitens des Na-Lichtes ( $589,3 \mu\mu$ ) und drittens des grünen der Wellenlänge  $510,5 \mu\mu$ .

Etwas genauer muß ich mich nun noch über die Feststellung der im Versuch zu benützenden Lichtstärken verbreiten. Als Grundlage für die Beurtheilung, ob ein Reiz unter oder über der Schwelle des Zapfenapparates ist, dient natürlich immer die foveale Sichtbarkeit des betreffenden Objectes. Das Unsichtbarwerden eines kleinen Objectes bei directer Fixation ist bei gut dunkeladaptirtem Auge eine nach einiger Uebung so gut zu beobachtende Erscheinung, daß man relativ leicht auch die Grenze der Lichtstärke ermitteln kann, bei der sie noch resp. nicht mehr zu constatiren ist.

Indessen ist dies Verfahren ganz einfach und einwurfsfrei nur für das gelbe Licht. Bei dem grünen stellte sich heraus, daß auch bei einer Lichtstärke, in der das kleine Feld sicher foveal verschwand, das größere, wenn auch schwach, doch deutlich farbig gesehen würde. Man kann hierfür die maculare Absorption des bläulich grünen Lichtes verantwortlich machen; jedenfalls aber ergab sich die Nothwendigkeit, mit der Lichtstärke noch etwas weiter herunterzugehen. Dies habe ich denn auch gethan; leider gab dabei das Verschwinden einer sichtbaren Färbung ein nur sehr unsicheres Kriterium, vorzugsweise weil mir die nur dämmerungssichtbaren Objecte unter allen Umständen leicht bläulich erscheinen.

Anders wiederum liegen die Dinge für das rothe (Lithium) Licht. Nach den Angaben früherer Untersucher war zu erwarten, daß es hier ein excentrisch sichtbares, foveal verschwindendes Licht überhaupt nicht geben werde; dies hat sich auch mir bestätigt. Immerhin fand ich die Veränderung im Aussehen eines mit solchem Licht erleuchteten Feldes bei fortschreitender Adaptation doch noch so merklich, daß ich auf die Untersuchung desselben nicht gern überhaupt verzichten wollte. Ich habe mich daher hier darauf beschränken müssen, die Lichtstärke so weit herabzusetzen, als es mit einer leidlichen Sicherheit der Bestimmungen noch irgend vereinbar schien, muß aber bemerken, daß das Feld hierbei stets einen merklichen rothen Schimmer hatte.

Man wird hiernach sagen müssen, daß wir für die strenge Erreichung des oben theoretisch formulirten Zweckes keine ganz

scharfen Kriterien besitzen, und dafs er bei dem einen Licht (Roth) sicher nicht ganz streng erreicht war; ich kann also die Bedingungen dieser Versuche nur dahin angeben, dafs die benützten Lichter relativ schwache, entweder unter der Farbenschwelle bleibende oder nur äufserst wenig über sie hinausgehende waren. Indessen genügt, wie die Beobachtungen sogleich ergaben, diese Fixirung der Bedingungen, um zu durchaus einfachen und unzweideutigen Resultaten zu gelangen. Dieselben sind in der folgenden Tabelle I zusammengestellt, deren obere Horizontal-

Tabelle I.

Abhängigkeit der Verschmelzungsfrequenzen von der Adaptation bei sehr schwachen Lichtern.

Dauer der Dunkeladaptation (in Minuten)							
5	10	15	25	35	50	70	90
Li-Licht. Spaltweite 21,0							
12,78	12,64	12,90	13,14	13,92	14,52	14,50	14,96
11,52	12,52	12,78	13,90	14,18	14,28	14,54	14,58
11,78	12,40	12,88	13,50	14,00	14,13	14,27	14,50
12,00	13,14	13,26	14,08	13,90	15,00	14,87	15,00
12,80	13,08	12,92	14,00	14,38	14,18	14,37	14,67
13,28	13,00	13,65	14,16	14,42	14,87	14,67	14,87
12,36	12,80	13,07	13,80	14,13	14,50	14,54	14,73
Na-Licht. Spaltweite 4,5.							
10,87	11,78	13,26	14,67	14,38	15,35	15,87	15,50
10,40	11,24	12,32	13,65	13,23	15,20	16,42	15,85
10,80	11,92	12,64	13,65	14,00	14,87	15,02	15,28
10,45	10,70	12,32	12,90	14,52	14,38	14,87	15,17
9,85	10,52	11,13	13,50	13,80	14,90	15,20	16,00
9,25	10,59	12,90	14,23	14,52	15,32	15,02	15,28
10,27	11,29	12,43	13,77	14,08	15,01	15,40	15,51
Das Licht von 510,5 $\mu\mu$ Wellenlänge. Spaltweite 6,0.							
	10,72	12,53	14,23	15,35	16,23	16,23	16,42
	11,50	13,80	14,52	15,68	16,06	15,87	16,42
	10,34	13,40	14,67	16,06	16,06	16,63	16,63
	11,78	13,50	14,87	15,30	16,23	16,23	16,83
	12,00	13,14	14,87	15,92	16,29	17,02	17,24
	12,20	13,80	15,02	15,87	16,40	16,27	16,83
	11,42	13,36	14,70	15,70	16,21	16,38	16,73

reihe die Zahl der Minuten vom Beginn der Dunkeladaptation angiebt; in Fig. 2 sind sie graphisch veranschaulicht. Man ersieht ohne Weiteres, daß die Verschmelzungsfrequenzen durch-

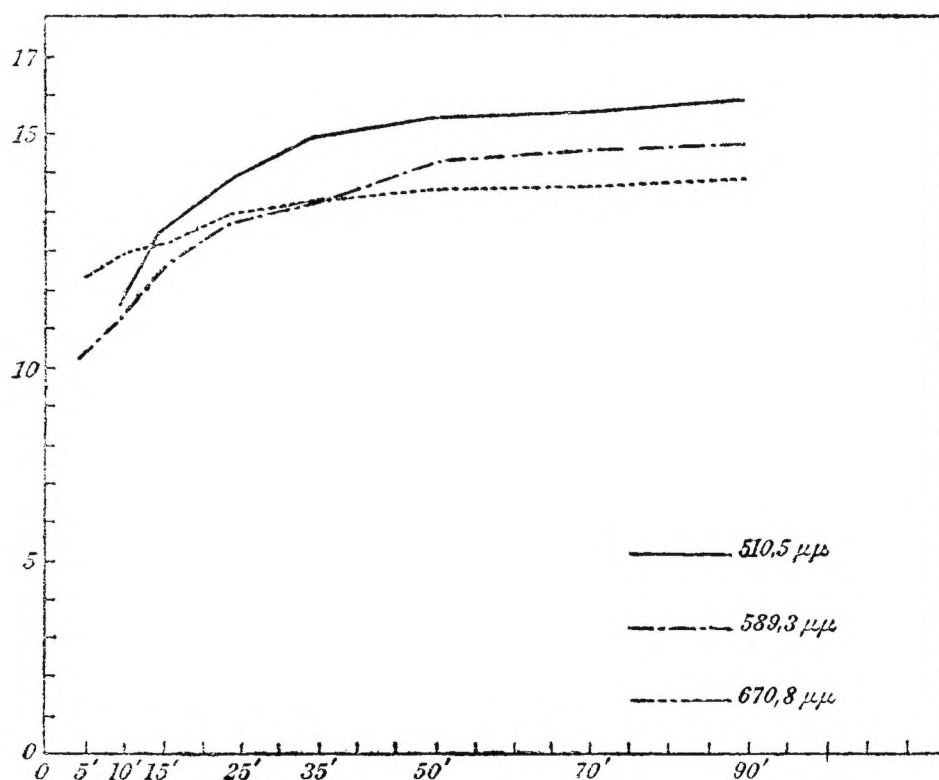


Fig. 2.

Abhängigkeit der zum Verschwinden des Flimmerns erforderlichen Frequenz des Lichtwechsels von der Adaptation bei sehr schwachen Lichtern.

Die Abscissen sind die Zeiten der Dunkeladaptation in Minuten, die Ordinaten die Zahlen der Lichtintermission pro Secunde.

— für Licht von 510  $\mu\mu$   
 . — . — . — für Licht von 589,3  $\mu\mu$   
 ..... für Licht von 670,8  $\mu\mu$ .

weg mit zunehmender Adaptation heraufgehen. Wir können also als erstes und sehr einfaches Ergebnis den Satz aufstellen: Solange die Bedingungen des Dämmerungssehens vollkommen oder wenigstens sehr annähernd eingehalten sind, steigen die Verschmelzungsfrequenzen mit der Vermehrung der wahrgenommenen Helligkeit nicht bloß dann, wenn diese durch Erhöhung der Lichtstärke sondern im gleichen Sinne auch dann, wenn sie durch fortschreitende Dunkeladaptation bewirkt wird. — Die genauere Betrachtung der gewonnenen Zahlen (vergl. die nebenstehende graphische Veranschaulichung) giebt noch zu einigen Bemerkungen Anlaß. Bei dem höheren Grade der Dunkeladaptation finden wir die Verschmelzungsfrequenz am tiefsten für das rothe, höher



für das gelbe, am höchsten für das grüne Licht, ein sehr begreiflicher Befund, da zufolge der bekannten Eigenschaften dieser Lichter und der für ihre Intensitäten eingehaltenen Bedingungen thatsächlich das grüne Licht in der grössten, das rothe in der geringsten Helligkeit gesehen wurde. Handelte es sich um lauter durchweg nur dämmerungssichtbare Lichter, so wäre zu erwarten, daß das gleiche Verhältniß auch schon von Anfang der Adaptation an bestünde, die 3 Curven, in ähnlicher Weise ansteigend in der gleichen Lage zu einander blieben. Wenn wir statt dessen bei geringer Dunkeladaptation die Zahlen des rothen Lichtes als die höchsten finden, so wird man dies damit in Verbindung bringen dürfen, daß gerade hier das Dämmerungssehen kein reines ist, sondern eine Beimischung von Farbenempfindung stattfindet, die natürlich bei der erst beginnenden Dunkeladaptation am stärksten hervortritt. Im Uebrigen muß allerdings bemerkt werden, daß dieser Vergleich ein einigermaßen unsicherer ist, da es unmöglich ist, alle Versuche mit genau dem gleichen Adaptationszustande beginnen zu lassen.

Es sei schliesslich noch darauf hingewiesen, daß die erhaltenen Zahlen alle relativ niedrig liegen; sie bewegen sich zwischen 10 und 17 pro Secunde.

Nachdem somit innerhalb eines in bestimmter Weise eingeschränkten Gebietes eine sehr einfache Gesetzmässigkeit sich herausgestellt hatte, wandte ich mich der Frage zu, wie sich die Dinge bei höheren Lichtstärken verhalten. Es schien dabei empfehlenswerth, nicht sogleich zu sehr hohen Helligkeiten überzugehen, sondern solche zu wählen, die ein nur mässiges Vielfaches der vorhin benutzten darstellen. Zu diesem Zwecke konnte für das gelbe Licht die Spaltweite auf das 3- und das 9fache des in der ersten Versuchsreihe benutzten Werthes gebracht werden (13,5 resp. 40,5 Theilstriche). Für das rothe Licht müßte ich, um nicht auf zu große Spaltweiten und zu unreine Lichter zu kommen, anders zu Werke gehen. Hier wurde an Stelle des weissen Papiers ein Spiegel eingesetzt, wodurch die Erleuchtung des Collimatorspaltes beträchtlich gesteigert wurde. Dieser mußte dann wieder auf eine relativ kleine Weite eingestellt werden. Im Vergleich zu der ersten Versuchsreihe war die Lichtstärke nunmehr beträchtlich größer; jedoch war nicht genau bekannt, in welchem Verhältniß.

Bei den Versuchen dieser Art, die im Uebrigen ganz ebenso wie die vorigen geführt wurden, war nun das Ergebniß mit vollkommener Constanz das Entgegengesetzte: Die Verschmelzungsfrequenz rückt mit zunehmender Dunkeladaptation herunter. Die numerischen Resultate dieser Versuche sind in den Tabellen II zusammengestellt. In der graphi-

Tabelle II.

Abhängigkeit der Verschmelzungsfrequenz von der Adaptation bei stärkeren Lichtern.

Dauer der Dunkeladaptation (in Minuten)									
2	5	10	15	25	35	50	70	90	120
Li-Licht									
20,90	20,60	18,90	16,06	15,35	15,87	15,02	15,02	15,25	
	18,15	18,40	17,00	15,87	15,02	14,87	14,24	14,67	
20,25	19,45	18,64	15,87	14,87	14,67	14,87	15,02	14,75	
19,44	19,15	18,15	16,05	14,24	15,02	14,67	14,52	15,20	
20,20	19,34	18,52	16,25	15,08	15,15	14,86	14,70	14,97	
Na-Licht. Spaltweite 13,5.									
25,05	22,30	19,15	17,70	18,40	17,74	17,48	17,70	17,85	
24,60	21,00	19,48	18,02	17,70	18,10	17,68	17,50	17,70	
25,05	23,76	21,30	18,40	17,52	17,54	17,34	17,40	17,93	
25,30	24,10	21,30	18,40	18,14	17,93	17,50	17,32	17,48	
25,30	24,00	20,00	18,15	17,93	18,40	17,48	17,70	18,15	
25,06	23,03	20,25	18,13	17,94	17,94	17,50	17,52	17,62	
Na-Licht. Spaltweite 40,5.									
28,05	26,96	26,05	24,64	22,12	20,84	19,44	19,70	19,75	19,80
28,70	27,60	25,60	22,64	21,60	20,15	19,93	19,84	20,30	19,93
29,90	27,60	25,10	24,60	22,30	20,84	20,84	19,70	19,45	19,70
29,10	28,00	26,60	24,00	23,00	22,30	20,24	19,50	19,30	19,70
30,10	27,60	27,00	24,60	22,36	22,00	20,30	19,70	19,84	20,20
29,21	27,55	26,07	24,10	22,28	21,23	20,15	19,69	19,73	19,87

schen Darstellung Fig. 3 habe ich zum Vergleich auch noch diejenigen Curven hinzugefügt, die sich auf die geringen Lichtstärken der ersten Versuchsserie beziehen.

Der hier gefundene, die Verschmelzungsfrequenz herabsetzende Einfluß der Dunkeladaptation läßt sich nun übrigens auch auf mancherlei andere Arten noch einfacher zur An-

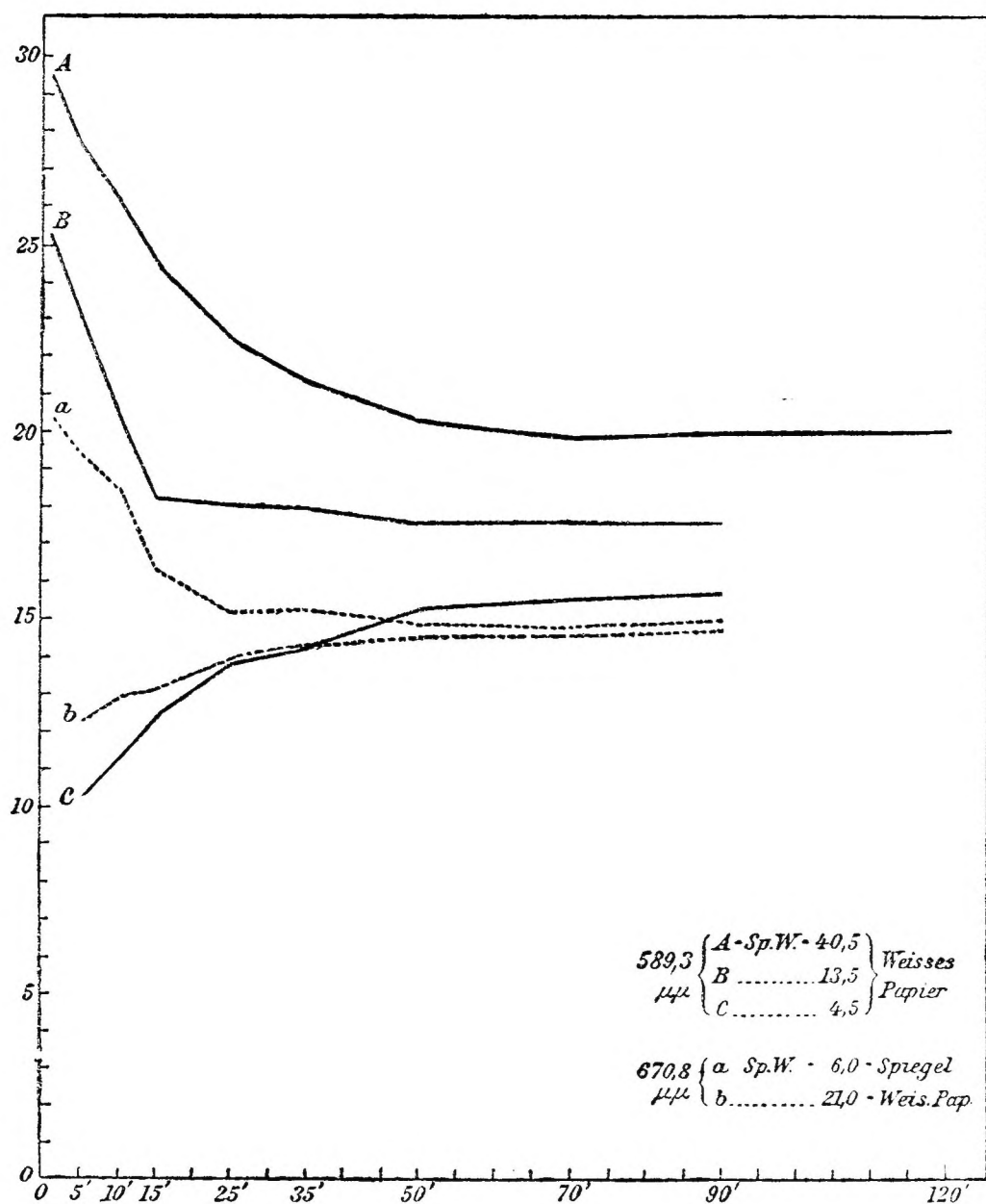


Fig. 3.

Abhängigkeit der Verschmelzungsfrequenzen von der Adaptation für Lichter von verschiedener Stärke.

Als Abscissen sind die Zeiten der Dunkeladaptation, als Ordinaten die Verschmelzungsfrequenzen aufgetragen. A das stärkste benutzte, B das mittlere, C das schwächste gelbe Licht (Spaltweiten 40,5; 13,5 und 4,5); a stärkeres, b schwächeres rothes Licht.

schauung bringen, namentlich durch Dunkeladaptirung eines Auges und vergleichende Beobachtung mit dem hell- und dem dunkeladaptirten. Betrachtet man einen mit der Hand in Umdrehung gebrachten ROTHE'schen Farbenkreisel mit schwarzen und weißen Sektoren in der angegebenen Weise, so kann man in vielen Fällen ohne Weiteres mit Sicherheit constatiren, daß der objectiv gleiche Vorgang im helladaptirten Auge noch ein



merkliches Flimmern erzeugt, während das dunkeladaptirte, obwohl es natürlich eine beträchtlich grössere Helligkeit sieht, kein Flimmern mehr wahrnimmt. Oft sind freilich die Differenzen bei dieser Anordnung nicht groß genug, um eine ganz sichere Beurtheilung zu gestatten. Eine schärfere und in mancher Beziehung auch wohl noch interessantere Gestalt gewinnt der Versuch, wenn man (ähnlich wie es BLOOM und GARTEN bei ihren Untersuchungen über die Sehschärfe gethan haben) für die beiden Augen zwei verschiedene Beleuchtungen anwendet, dergestalt, daß die Unterschiede der Erregbarkeit ungefähr ausgeglichen und die gesehenen Helligkeiten in beiden Augen etwa die gleichen werden. Um bei der abwechselnden Beobachtung mit dem einen und anderen Auge die Beleuchtungen schnell wechseln zu können, habe ich die Benutzung eines kleinen Gasbrenners mit doppelter Zuleitung sehr bequem gefunden. Die Beleuchtungen, die geeignet waren, um ein dunkel- und ein helladaptirtes Auge den Kreisel in etwa gleicher Helligkeit sehen zu lassen, wurden in einem oder einigen Vorversuchen ermittelt. Bei diesen ging ich so zu Werke, daß ich zuerst beide Augen in den Zustand einer jedenfalls nahezu maximalen Dunkeladaptation versetzte. Nachdem dies geschehen, wurde das eine Auge (in einigen Versuchen das rechte, in anderen das linke) durch Hinausschauen gegen den hellen Himmel während einiger Minuten helladaptirt, während das andere sorgfältig vor Lichtzutritt geschützt war. Gleich darnach wurde dann der Kreisel abwechselnd mit dem einen Auge bei der einen und mit dem anderen Auge bei der anderen Beleuchtung beobachtet und diese so regulirt, daß die gesehenen Helligkeiten etwa gleich erschienen. Selbstverständlich ist dies ein Postulat, das immer nur mit einer gewissen Annäherung erfüllt werden kann; auch ändern sich die Verhältnisse während des Versuchsganges merklich, insofern als vom Beginn der Beobachtungen an der Adaptationszustand beider Augen sich ändern und zwar der Anfangs bestehende Unterschied wenigstens zu einem Theile sich ausgleichen muß. Dies macht sich denn auch darin bemerklich, daß schon nach kurzer Beobachtung das geforderte Verhältniß der Beleuchtungen nicht mehr erfüllt erscheint, sondern das helladaptirte Auge eine grössere Helligkeit sieht, als das andere. Um dem zu begegnen, habe ich denn auch häufig bei der Regulirung der Beleuchtungen im Vorversuch es so eingerichtet, daß

die gesehene Helligkeit für das helladaptirte Auge zunächst etwas geringer war. Auch würde jeder Versuch auf eine Dauer von wenigen Minuten beschränkt, indem für jedes Auge nur 2 Einstellungen gemacht wurden (in die Folge *h d h d*). Trotz dieser Unsicherheiten ist das Ergebniss dieser Versuche ein durchaus unzweideutiges und zwar in dem Sinne, daß (bei etwa gleicher gesehener Helligkeit) das stark gereizte helladaptirte Auge eine beträchtlich höhere Verschmelzungsfrequenz zeigt als das schwach gereizte dunkeladaptirte. Es wird genügen, die Ergebnisse dieser Versuche so darzustellen, daß nur die Mittelwerthe zu zweien für das hell- und je zweien für das dunkeladaptirte Auge gemachten Einstellungen aufgeführt werden.

Tabelle III.

Rechtes Auge hell adaptirt	Linkes Auge dunkel adaptirt	Linkes Auge hell adaptirt	Rechtes Auge dunkel adaptirt
48,20	30,13	48,20	28,95
49,23	29,63	39,88	26,47
47,28	28,50	47,13	30,20
45,83	27,25	50,13	30,43
46,88	28,58	46,00	30,85
47,65	30,53	47,23	30,53
48,08	29,78		
47,23	29,40		
47,55	29,23	46,43	29,57

Ich habe auch hier zum Vergleich ähnliche Versuche mit rothem Licht angestellt; die weiße Scheibe des Kreisels wurde durch eine rothe ersetzt, außerdem statt der früher benutzten Pulsampe ein lichtstärkerer ARGAND-Brenner in rothem Cylinder (natürlich auch mit doppelter Zuleitung) benutzt. Auch hier kann die auf der Adaptation beruhende Helligkeitsdifferenz durch einen Wechsel der Beleuchtung annähernd ausgeglichen werden. Wie sich erwarten läßt, sind die Unterschiede, die man hier erhält, relativ gering; dem Sinne nach ist das Ergebniss aber das gleiche wie für das nahezu farblose Licht. (Tab. IV.)

Tabelle IV. (Roths Licht.)

Rechtes Auge hell adaptirt	Linkes Auge dunkel	Linkes Auge hell adaptirt	Rechtes Auge dunkel
24,70	21,30	25,00	20,48
25,88	21,53	24,75	21,30
24,70	21,50	24,45	20,48
24,40	19,82	25,00	20,80
23,90	20,90	24,45	19,65
23,90	20,50	23,65	20,25
24,57	20,93	24,55	20,49

Ueber die theoretische Seite der mitgetheilten Thatsachen wird es genügen, mich mit wenigen Bemerkungen zu äußern. Man wird von vorn herein erwarten dürfen, daß, soweit nur ein bestimmter Bestandtheil des Sehorgans ins Spiel kommt, die Vermehrung seiner Erregbarkeit auch bez. der Flimmererscheinung ungefähr ähnlich wirkt wie die Intensitätssteigerung der Lichtreize. Wenn, was jedenfalls die nächstliegende Annahme ist, der zeitliche Verlauf der Erregungsvorgänge dadurch nicht erheblich beeinflusst wird, so werden in beiden Fällen etwa übereinstimmend die Oscillationen bei gegebener Frequenz der Intermission umfangreicher sein und die Grenze der Verschmelzung hinaufrücken. — Die Erklärung des entgegengesetzten Einflusses der Adaptation bei den höheren Lichtstärken wird, soviel ich sehe, auf Schwierigkeiten stoßen, so lange der Sehapparat als ein einheitlicher gedacht wird. Bei den farbigen Lichtern könnte man vielleicht den Erscheinungen durch verwickelte und wenig wahrscheinliche Annahmen (deren specielle Entwicklung wohl überflüssig ist) gerecht zu werden suchen. Weshalb aber zunehmende Adaptation die Verschmelzungsfrequenz auch für weißes Licht herabsetzt und weshalb hier bei gleicher empfundener Helligkeit das schwach gereizte, dunkeladaptirte Auge eine erheblich niedrigere Verschmelzungsfrequenz besitzt als das stärker gereizte helladaptirte, das wird sich auf dieser Grundlage nicht verstehen lassen, ohne dem betr. Bestandtheil des Sehorganes höchst merkwürdige und schwer falsbare Eigenschaften zuzuschreiben. — Unter der Annahmen der Stäbchenhypothese sind die Erscheinungen leicht verständlich. Nehmen wir an, was



ohnehin wahrscheinlich ist<sup>1</sup>, daß diese im Vergleich zu dem farbentüchtigen Hellapparat eine größere Trägheit besitzen, so wird ihre Erregbarkeitssteigerung zwar die Verschmelzungsfrequenz hinaufrücken können, so lange es sich um schwache Lichter handelt und der Zapfenapparat ganz außer Spiel bleibt. Bei Lichtern aber, die auf beide Apparate merklich wirken, wird sich die Verschmelzungsfrequenz nach dem Verhältniß richten müssen, in dem der beweglichere und der trägere Apparat zusammenwirken, und sie wird heruntergehen müssen, wenn der Antheil des letzteren durch zunehmende Dunkeladaptation mehr und mehr ins Gewicht fällt.

<sup>1</sup> Schon die Beschaffenheit der primären Bilder bewegter Objecte (Ausziehung in einen längeren weissen Schweif) bei höherer Dunkeladaptation laßt dies vermuthen. Vgl. v. KRIES, *diese Zeitschrift* 12, S. 92.

---