

(Aus dem physiologischen Institut Freiburg i. B.)

Ueber die sogenannte Flimmer-Photometrie.

Von

Dr. O. POLIMANTI.

(Mit 4 Fig.)

Bekanntlich ist vor längerer Zeit von ROOD eine Beobachtung gemacht worden, die, wie zuerst von ihm, so neuerdings mehrfach so aufgefaßt worden ist, daß man durch sie zu einer Vergleichung der Helligkeit verschiedener Farben gelangen könne. Die Beobachtung bestand darin, daß für jedes farbige Licht bestimmter Qualität und Stärke ein farbloses Licht aufgefunden werden kann, welches, mit jenem abwechselnd zur Einwirkung auf die Netzhaut gebracht, schon bei der geringsten Intermittenzzahl eine continuirliche Empfindung liefert und kein Flimmern mehr bemerken läßt. Das Flimmern tritt bei unveränderter Zahl der Lichtwechsel wieder auf, wenn das farblose Licht heller oder dunkler gemacht wird. Der hieran geknüpfte Gedanke war der, daß das farbige Licht dem so gefundenen farblosen gleich hell zu nennen sei. Beobachtungen dieser Art sind in neuerer Zeit hauptsächlich von SCHENCK¹ ausgeführt worden. In naher Beziehung hierzu stehen auch die Versuche von RIVERS² und von HAYCRAFT.³ Doch muß betont werden, daß das von diesen Autoren zu Grunde gelegte Princip, nach welchem diejenigen farbigen und farblosen Lichter gleich hell

¹ SCHENCK, Ueber intermittirende Netzhautreizung. 1. Mittheilung. *PLÜGER'S Archiv* **64**, S. 607.

² RIVERS, Photometry of coloured Papers. *Journal of Physiology* **22**, S. 137.

³ J. B. HAYCRAFT, Luminosity and Photometry. *Journal of Physiology* **21**, S. 126.

gesetzt werden, die unterbrochen, also im Wechsel mit Schwarz einwirkend, gleiche Intermittenzschnelligkeiten zum Verschwinden des Flimmerns erfordern, mit dem Eingangs erwähnten nicht ohne Weiteres identificirt werden kann. Meine Beobachtungen haben sich im Wesentlichen dieser, auch von SCHENCK benutzten Grundthatsache angeschlossen. Nach den neuerlichen Ermittlungen, insbesondere über die Peripheriewerthe, erschien es wünschenswerth, derartige Beobachtungen an einem auch in anderen Beziehungen vielfach untersuchten und gut bekannten Spectrum, dem Dispersionsspectrum des Gaslichts, auszuführen, überdies dabei mehr, als in der bisherigen Beobachtung geschehen, dem Adaptationszustande Rechnung zu tragen. Ich bin daher gern dem Vorschlage des Herrn Professor v. KRIES gefolgt, eine Reihe von Untersuchungen in dieser Richtung anzustellen.

Der Darlegung der Methode und der Ergebnisse schicke ich noch einige Erwägungen voraus. Es handelt sich nach dem gegenwärtigen Zustand unseres Wissens bei allen Untersuchungen, die die Gesichtsempfindungen betreffen, vornehmlich um die Untersuchung zweier extremer Fälle: des Sehens einerseits bei größeren Lichtstärken und bei helladaptirtem Sehorgan, andererseits bei schwachem Licht und Dunkeladaptation. Nach bekannten Thatsachen ist selbstverständlich, daß von einer „Flimmerphotometrie“ für den letzteren Fall nicht wohl die Rede sein kann. Da nämlich beim Dämmerungssehen sich für je 2 Lichter, welcher Art sie auch sein mögen, stets ein Verhältniß finden läßt, in dem sie durchaus gleich erscheinen (Alles wird ja farblos gesehen), so versteht sich von selbst, daß auch die intermittirende Einwirkung zweier solcher Lichter, mag sie nun in schnellerem oder langsamerem Rhythmus erfolgen, immer eine stetige Empfindung liefern wird. Man könnte also in diesem Falle, in dem die zu vergleichenden Lichter bei passender Wahl der Intensitäten vollkommen übereinstimmend gesehen werden, von einer Flimmerphotometrie überhaupt nicht reden; das eigentlich Charakteristische des Verfahrens jedenfalls ist dabei in Fortfall gekommen; will man es rein formell auch auf diesen Fall ausdehnen, so ist das Ergebniß selbstverständlich: es kann nichts Anderes liefern, als die bekannte Vertheilung der Dämmerungswerthe.

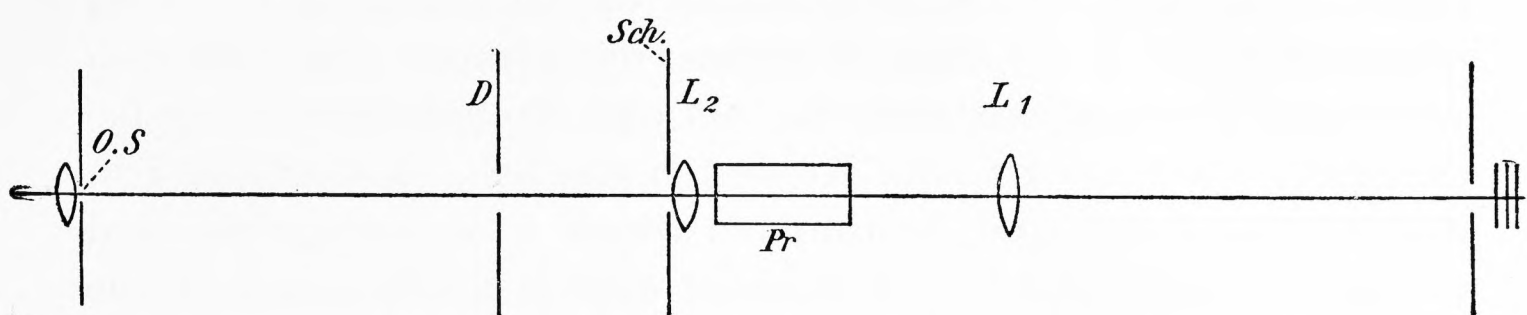
Hiernach habe ich denn meine Beobachtungen auf das

andere Extrem, möglichst helladaptirtes Auge und ziemlich hohe Lichtstärken, eingeschränkt. Die Aufgabe einer derartigen Untersuchung (das wäre ein weiterer Punkt, der hier kurz zu berühren ist) möchte ich nicht ohne Weiteres mit einigen der früheren Autoren als eine photometrische, als eine Helligkeitsmessung bezeichnen. Denn es ist zum Mindesten fraglich, ob überhaupt in einem ganz festen und bestimmten Sinne z. B. ein gelbes und ein grünes Licht gleich hell genannt werden dürfen, und ob die Frage, welches gelbe Licht einem gegebenen grünen gleich hell sei, einen so bestimmten Sinn hat, daß man ihre Beantwortung als ein Ziel der Untersuchung ansehen kann. Da ich mich natürlich hier nicht in tiefe psychologische Erörterungen einlassen kann, so erscheint es mir am besten, Ziel und Ergebnisse der Untersuchung in einer möglichst unverfänglichen Weise zu bezeichnen. Ich will daher ein farbiges Licht demjenigen farblosen, mit dem es bei geringster Zahl der Wechsel eine stetige Empfindung liefert, „flimmeräquivalent“ nennen; in einer unmittelbar verständlichen Weise kann man dann auch von einer Ermittlung der „Vertheilung der Flimmerwerthe im Spectrum“ reden (sie bedeutet dasselbe, wie eine auf der Flimmermethode basirte Ermittlung der Helligkeitsvertheilung im Spectrum, nur mit Vermeidung der bei dieser letzteren Formulirung präsumirten theoretischen Deutung).¹

Das Verfahren, dessen ich mich zur Ermittlung der Flimmerwerthe bediente, schloß sich in mancher Beziehung demjenigen an, welches v. KRIES zur Bestimmung der Peripheriehelligkeiten angewendet hat. Die benutzte Aufstellung konnte auch ganz ohne Weiteres für diesen letzteren Zweck verwendet werden; sie unterschied sich jedoch von der damals benutzten vornehmlich dadurch, daß ein eigens für diesen Zweck gebauter Spectralapparat die etwas unbequeme Aufstellung an (eigentlich in) der Thür zweier Dunkelzimmer entbehrlich machte. Der Spectralapparat war ein gradsichtiger von SCHMIDT & HAENSCH gebauter. In der aus Figur 1 ersichtlichen Weise entwarfen die Linsen (Collimatorlinse L_1 und Objectivlinse L_2) nebst dem gradsichtigen Prisma Pr ein reelles Spectrum, aus dem der Ocularspalt OS einen Streifen ausschnitt. Das hinter OS gebrachte Auge sah

¹ SCHENCK hat, ähnlichen Ueberlegungen folgend, das, was wir Flimmerwerth nennen, als „Intermittenzhelligkeit“ bezeichnet; ich ziehe vor, das Wort Helligkeit ganz zu vermeiden.

daher in der jetzt fast allgemein benutzten Weise die Fläche der Linse von einem homogenen Licht erleuchtet. Das Colli-



Figur 1. Schema der Versuchsanordnung.

matorrohr sammt Spalt und Triplexbrenner sind in der Weise beweglich, daß das Spectrum über den Ocularspalt hingeführt werden, somit die sichtbar gemachte Wellenlänge variirt werden kann. Die Stellung des Collimatorrohres kann an einer Skala mit Nonius abgelesen werden, so daß jedes gewünschte Licht leicht eingestellt werden kann. Auch hier geht natürlich der Benutzung des Apparats eine Graduirung in der Weise voraus, daß an Stelle des Triplexbrenners eine mit Lithium, Natrium, Thallium oder Strontium leuchtend gemachte Bunsenflamme gebracht wird und man die Stellungen des Collimators ermittelt, bei denen die Metalllinien in der Mitte des Ocularspalts stehen. Auch ist der Abstand des Ocularspalts mit Sorgfalt so herzustellen, daß die reellen Bilder der Linien genau in die Ebene des Spalts fallen.

Zur Ausführung der Flimmerbeobachtungen wurde nun vor der Objectivlinse eine Scheibe *Sch* aufgestellt, die in Rotation versetzt werden konnte und die in einer den Durchmesser der Linse noch etwas übertreffenden Zone 4 Ausschnitte von 45° besaß. Das weiße Licht, welches die Scheibe an ihrer dem Beobachter zugekehrten Seite reflectirte (weißes Cartonpapier im gewöhnlichen Tageslicht), wechselte demnach bei jeder Umdrehung vier Mal mit dem die Linsenfläche erleuchtenden homogenen Lichte ab. Selbstverständlich mußte dieser Lichtwechsel auf ein nicht zu großes scharf begrenztes Feld beschränkt werden. Aus diesem Grunde wurde in kleinerem Abstand (ca. 5 cm) vom Ocularspalt nochmals ein weißes Cartonblatt aufgestellt, das mit einer Oeffnung von 2 mm Durchmesser versehen war (*D*). Die Ränder dieser Oeffnung erschienen scharf, nachdem dem Ocularspalt ein schwaches, als Lupe wirkendes Convexglas vorgesetzt war. Es wurde dadurch zugleich er-

reicht, daß die Ränder der Ausschnitte an der rotirenden Scheibe nicht scharf gesehen wurden, was zur Vermeidung von manchen Fehlerquellen nützlich erschien. Es wäre vielleicht noch besser, wenn man statt einer sichtbaren über das Feld hinlaufenden Contur es einrichten könnte, daß der Lichtwechsel im ganzen Felde gleichzeitig einträte; doch liefs sich dies mit unseren Hilfsmitteln nicht ausführen.

Die Scheibe wurde nun durch einen Elektromotor in eine passend schnelle Umdrehung versetzt. Der Beobachter hatte alsdann die Aufgabe, durch einen leicht zu handhabenden Schnur-
lauf die Weite des Collimatorspalts so zu reguliren, daß das farbige Licht dem weissen „flimmer-äquivalent“ wurde. Damit dies möglich ist, darf selbstverständlich die Geschwindigkeit der Rotation weder zu groß noch zu klein sein. Ist sie zu klein, so hört bei keiner Einstellung das Flimmern auf; ist sie zu groß, so verschwindet das Flimmern innerhalb eines mehr oder weniger großen Spielraums der Spaltweiten. Die anfängliche Befürchtung, daß die Beobachtungen hierdurch sehr difficil werden würden, bestätigte sich indessen nicht. Selbstverständlich ist es zwar am günstigsten, wenn die Geschwindigkeit so regulirt ist, daß das Flimmern gerade bei einer bestimmten Spaltweite aufhört; indessen gelingt die Einstellung überraschend gut auch bei etwas geringerer Geschwindigkeit, indem man auf das Minimum des Flimmerns einstellt, kaum minder gut auch bei einer etwas größeren, indem man die Mitte der beiden Stellungen sucht, wo bei Erweiterung und bei Verengung des Spalts das Flimmern sichtbar wird. Selbstverständlich darf in beiden Beziehungen nicht sehr weit gegangen werden. Doch beruht es hierauf, daß, nachdem dem Motor einmal die passende Geschwindigkeit gegeben war, die Untersuchung des Spectrums (soweit sie überhaupt erstreckt werden sollte) meist ohne Veränderung derselben durchgeführt werden konnte. Hierfür kam dann auch noch ein anderer Punkt in Betracht, der hier hervorgehoben werden muß. Während in den meisten älteren Beobachtungen dasjenige Grau aufgesucht wird, welches einem gegebenen farbigen Licht flimmeräquivalent ist, bleibt hier das weisse Licht unverändert und es wird dem farbigen Licht diejenige Stärke gegeben, bei welcher es dem weissen flimmer-äquivalent ist. Für die einzelne Vergleichung dürfte dies ohne Belang sein; denn die Flimmeräquivalenz wird sich wohl ohne Zweifel ganz überein-

stimmend darin bemerklich machen, daß die Empfindung un-
stetig wird, wenn wir bei constantem farbigem Licht das weisse
heller oder dunkler machen oder aber, wenn wir bei constantem
Weiss das farbige vermehren oder vermindern. Dagegen ist zu
beachten, daß hier die Bestimmung aller farbigen Lichter durch
Vergleichung mit demselben Weiss stattfindet.

Bezüglich der Ausführung der Versuche ist noch zu er-
wähnen, daß auch hier ein Theil der Vorsichtsmaafsregeln zu
beobachten war, die v. KRIES in seiner Arbeit über die Netzhaut-
peripherie geschildert hat. Namentlich konnte, da auch hier das
Tageslicht dasjenige war, mit dem alle Anderen verglichen
wurden, nicht gearbeitet werden, wenn dieses schnell und un-
regelmässig wechselte. Und auch wenn dies nicht der Fall war,
empfahl es sich in der dort angegebenen Weise vorzugehen: es
wurde also stets der Flimmerwerth des Natriumlichtes, $589\ \mu\mu$
bestimmt, dann der eines oder zweier anderer Lichter, sodann
wieder der des Na-Lichtes; jede Bestimmung umfaßte dabei
immer 6 Einstellungen. Schliesslich wurde dann das Ergebniss
für ein einzelnes Licht verglichen mit dem arithmetischen Mittel
der vorher und der nachher gemachten Bestimmung des Na-
Lichts und man erhielt so den Flimmerwerth des einzelnen Lichts
im Verhältniss zu dem des Na-Lichts. In den nachfolgenden
Tabellen sind die Werthe stets so angegeben, daß der des Na-
Lichts = 100 gesetzt ist.

Die nachfolgende Tabelle enthält nun die Ergebnisse einer
größeren Zahl derartiger Beobachtungsreihen. Die erste Zeile
enthält die Bezeichnung des Lichts und zwar doppelt, nämlich
erstens den spectralen Ort, von demjenigen des Na-Lichts an ge-
rechnet, in Theilstrichen der oben erwähnten Skala, sodann in
Wellenlängen. Die folgenden Reihen führen den für diese
Lichter ermittelten Flimmerwerth und zwar so, daß in jeder
Horizontalcolonne die Resultate einer Versuchsreihe enthalten
sind. Die letzte Reihe, mit *M* bezeichnet, giebt das Mittel aller Reihen.

Die Ergebnisse lassen erkennen, wie hier gleich von vorn-
herein bemerkt sei, daß eine gewisse Abhängigkeit von den
jeweils benutzten Helligkeiten zu Tage tritt. Ich habe, um dies
ersichtlich zu machen, im letzten Stabe der Tabellen die in jeder
Reihe benutzte Weite des Natriumspalts hinzugefügt. Man wird
bemerken, daß in der That die gefundene relative Helligkeit
mancher Lichter in deutlicher Correspondenz mit diesen Weiten

Tabelle I. Flimmerwerthe (POLIMANTI).

Na — 2,5 687 $\mu\mu$	Na — 2 664 $\mu\mu$	Na — 1,5 642 $\mu\mu$	Na — 1 624 $\mu\mu$	Na — 0,5 606 $\mu\mu$	Na 588 $\mu\mu$	Na + 1 565 $\mu\mu$	Na + 2 543 $\mu\mu$	Na + 3 526 $\mu\mu$	Na + 4 509 $\mu\mu$	Breite der Na-Spalte
	36,13		86,38		100	86,37	40,94	19,04		38,57
	28,20		80,79		100	79,67	36,64	17,05		28,76
		57,79	69,13	88,28	100	81,37	51,27	27,29		32,79
		69,39	80,77	92,68	100	86,41	52,38	24,26		46,23
		60,09	76,10	89,80	100	86,96	46,66	26,06		40,16
		38,42	54,51	78,07	100	75,48	45,79	22,50		17,11
		57,23	78,49	90,66	100	85,68	62,80	37,61		39,38
	30,4				100					26,14
	30,6				100					26,14
	31,1				100					26,23
	30,5				100					26,23
	32,0				100					27,46
	31,7				100					27,46
27,1					100				21,7	26,54
27,8					100				21,5	26,46
27,1					100				21,0	26,83
29,2					100				22,4	27,77
29,4					100				22,8	28,12
29,0					100				22,2	27,38
M. 28,26	31,20	56,58	35,17	87,89	100	83,13	48,06	25,01	21,93	

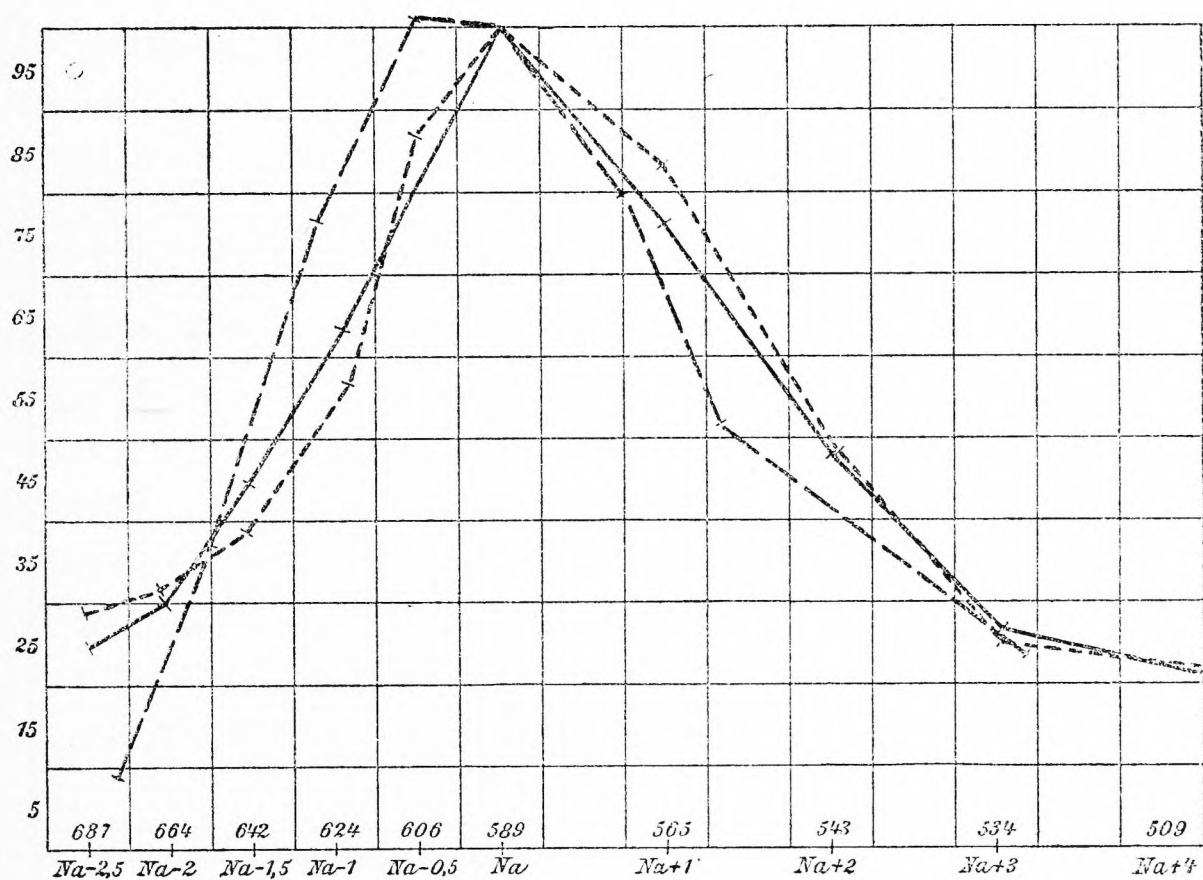
wechselt. Dies rührt daher, daß die Spaltweiten, namentlich in den lichtschwächeren Theilen des Spectrums, wohl öfters über diejenigen Grenzen hinausgingen, welche eigentlich, um hinlänglich homogenes Licht zu haben, nicht hätten überschritten werden sollen. Ich bin leider auf diesen Umstand zu spät aufmerksam geworden, hätte ihm übrigens bei den zur Verfügung stehenden Lichtstärke- und Dispersionsverhältnissen kaum abhelfen können. Bei der Häufung einer größeren Zahl von Reihen dürften sich die Fehler auch insoweit ausgeglichen haben, daß eine Beurtheilung in Bezug auf die hauptsächlich interessirenden Punkte mit genügender Sicherheit stattfinden kann.

Die Tabelle läßt, im Hinblick auf bekannte Thatsachen, zweierlei erkennen, nämlich erstens, daß die Vertheilung der Flimmerwerthe nicht übereinstimmt mit derjenigen der Dämmerungswerthe, zweitens, daß sie wenigstens annähernd übereinkommt mit derjenigen der Peripheriehelligkeiten, wie sie v. KRIES ermittelt hat. Ersteres ist auch von SCHENCK bereits gefunden und angegeben worden. Er zeigt, daß die nach der Flimmermethode gemessenen Helligkeiten farbiger Papiere nicht übereinstimmen mit deren Weißvalenzen, wenn man diese in der von HERING und HILLEBRAND angegebenen Weise durch Beobachtung des dunkeladaptirten Auges in schwachem Licht ermittelt. Hier zeigt sich der Unterschied überaus deutlich; die Dämmerungswerthe haben ihr Maximum bei etwa $540\ \mu\mu$, die Flimmerwerthe bei 589 oder vielleicht noch etwas größerer Wellenlänge. Ueber die gänzliche Verschiedenheit der einen und anderen Function kann also kein Zweifel bestehen. Was dagegen den zweiten Punkt anlangt, so erschien eine genauere Untersuchung geboten, theils weil die bis jetzt vorliegenden Beobachtungen über die Peripheriehelligkeiten in dem Sinne, wie v. KRIES diesen Ausdruck gebraucht, noch wenig zahlreich sind, theils weil sie sich auf ein etwas abweichendes Spectrum, das von einem WERNICKE'schen Flüssigkeitsprisma gelieferte, beziehen. Am besten war es bei dieser Sachlage natürlich, direct meinerseits bei der für die Flimmermethode benutzten Aufstellung zu einer Bestimmung der Peripheriewerthe zu schreiten. Dies habe ich denn auch gethan. Es war zu diesem Ende nur erforderlich, sowohl die Scheibe wie das Diaphragma (*Sch* und *D* Fig. 1) zu entfernen und statt dessen unmittelbar vor der Linse einen weißen Schirm mit einer Oeffnung ($5,5\ \text{mm}$ Durchmesser)

Tabelle II. Peripheriewerthe (POLIMANTI).

Na — 2,5 687 $\mu\mu$	Na — 2 664 $\mu\mu$	Na — 1,5 642 $\mu\mu$	Na — 1 624 $\mu\mu$	Na — 0,5 606 $\mu\mu$	Na 589 $\mu\mu$	Na + 1 565 $\mu\mu$	Na + 2 543 $\mu\mu$	Na + 3 526 $\mu\mu$	Na + 4 509 $\mu\mu$	Breite der Na-Spalte
		37,84	57,99	82,25	100	60,27	36,71	28,89		15,28
		42,95	56,42	78,40	100	78,41	39,58	20,54		12,01
		44,03	60,25	78,84	100	67,24	41,12	18,62		11,78
		52,36	71,24	86,83	100	84,04	58,45	30,39	21,77	20,72
		43,93	62,54	79,79	100	76,01	47,65	23,25	13,49	13,74
		55,02	71,11	83,74	100	80,93	63,72	37,58	28,77	26,95
		46,49	66,50	85,77	100	71,26	47,60	26,24		16,83
25,0	29,6				100					28,16
23,4	29,1				100					27,85
24,5	30,0				100				21,1	28,07
23,8	29,6				100				22,3	27,64
23,1	29,1				100				21,8	27,34
24,4	30,3				100				20,2	26,57
25,4	30,1				100				21,0	27,86
26,1	31,7				100				21,2	27,86
26,1	31,8				100				21,7	28,04
26,6	32,1				100				21,4	28,15
M. 24,84	30,34	46,08	63,72	82,23		74,02	47,83	26,50	21,3	

anzubringen. Der Ocularspalt war ohnehin bereits in einem Blechtäfelchen angebracht, welches so geformt war, daß man an seinem Rande vorbeisehen und den mit homogenem Licht erleuchteten Fleck inmitten der weißen Umgebung am Rande des nasalen Gesichtsfeldes beobachten konnte. Die Bestimmungen wurden im Uebrigen ganz in der von KRIES angegebenen Weise ausgeführt, mit dem einzigen Unterschiede, daß die benutzten homogenen Lichter hier dieselben wie die bei den Flimmerbeobachtungen verwendeten waren. Die Ergebnisse dieser Beobachtungen stellt die Tabelle II zusammen und zwar entspricht wiederum jede eingetragene Zahl dem Mittelwerth von 6 einzelnen Einstellungen. Die letzte Zeile enthält das Gesamtmittel. Um das Verhältniß der verschiedenen Beobachtungen ersichtlich zu machen, sind in Fig. 2 dargestellt 1. die von mir bestimmten Peripheriewerthe, 2. die von mir gefundenen Flimmerwerthe (in



Figur 2.

Flimmerwerthe POLIMANTI -----, Peripheriewerthe POLIMANTI ————, und Peripheriewerthe v. KRIES — · — · —, im Dispersionsspectrum des Gaslichtes.

beiden Fällen enthält natürlich die Figur die Gesamtmittel) und 3. die von v. KRIES gefundenen Peripheriewerthe. Man erkennt, daß die Curve, die die für mich geltenden Peripheriewerthe darstellt, nahezu, jedoch nicht ganz genau mit der der

KRIES'schen Bestimmungen zusammenfällt; die meinige ist ein wenig nach rechts verschoben.¹ Bedenkt man, daß die Gestaltung der Curven in hohem Maasse von der Adaptation abhängig ist und daß man sich durch starke Helladaptation einem gewissen Extrem voraussichtlich wohl sehr annähern kann, ohne es jedoch eigentlich mit Sicherheit und in aller Strenge erreichen zu können, so wird die Differenz nicht auffallen können. Ferner sieht man, daß die Curve der Flimmerwerthe jedenfalls annähernd mit den beiden Curven der Peripheriewerthe zusammenfällt. Ich kann hinzufügen, daß das Gleiche sich auch für noch etwas kleinere Wellenlängen bestätigen läßt. Zwar konnten die Versuche mit dem Triplexbrenner nicht wohl weiter fortgesetzt werden als bis zur Wellenlänge 509 $\mu\mu$; ich habe aus diesem Grunde noch eine Anzahl von Beobachtungen mit Auer-Licht ausgeführt und bei diesem Flimmerwerthe und Peripheriehelligkeiten der Lichter 495 und 481 $\mu\mu$ im Vergleich zum Na-Licht bestimmt. Die Ergebnisse enthalten die folgenden Tabellen 3 und 4.

Tabelle III.

Flimmerwerthe (POLIMANTI).
Auer-Licht

Na + 5 495 $\mu\mu$	Na + 6 481 $\mu\mu$
9,82	9,34
14,28	12,07
10,21	9,69
10,60	10,05
11,23	10,28

Tabelle IV.

Peripheriewerthe (POLIMANTI).
Auer-Licht.

Na + 5 495 $\mu\mu$	Na + 6 481 $\mu\mu$
15,27	14,55
11,55	9,57
14,34	11,18
14,27	11,17
14,49	11,37
13,98	11,56

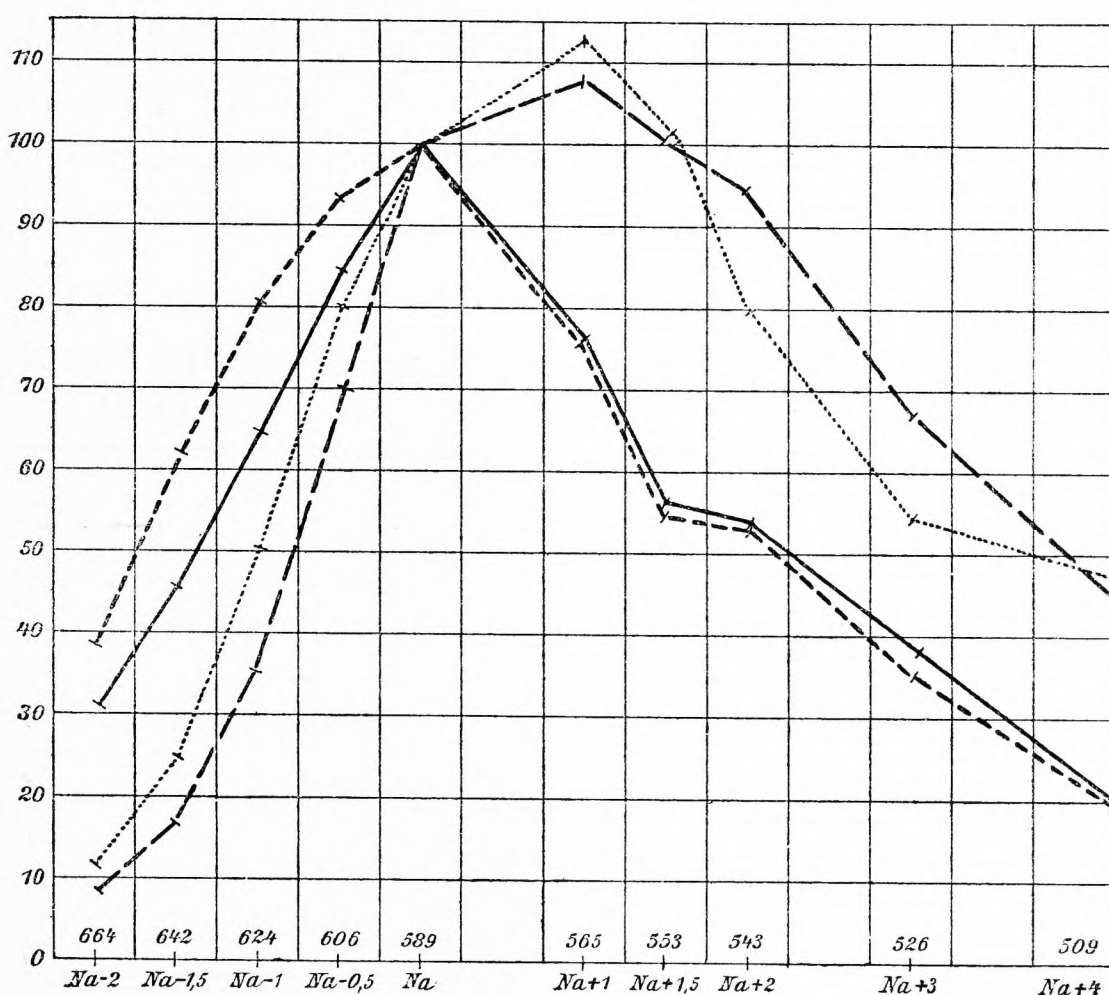
Läßt sich im Ganzen auch nicht verkennen, daß sowohl die Peripheriewerthe wie auch namentlich die Flimmerwerthe nur mit einer mäßigen Genauigkeit bestimmt werden können, so halte ich mich doch für berechtigt, den Satz aufzustellen,

¹ Die starke Differenz im äußersten Roth dürfte wohl auf dem oben erwähnten Umstande beruhen, daß ich hier zu große Spaltweiten benutzen mußte.

daß Flimmerwerthe und Peripheriewerthe im Spectrum nahezu gleich vertheilt, daß beide jedenfalls annähernd dieselbe Function der Wellenlänge sind.

Die dankenswerthe Mitwirkung zweier Dichromaten, und zwar eines Protanopen (Dr. M. MARX) und eines Deuteranopen (Dr. W. NAGEL) hat mir ermöglicht, die gleichen Untersuchungen auch auf diese Sehorgane auszudehnen.

Hinsichtlich des Protanopen ist bereits bekannt, daß für ihn die Vertheilung der Peripheriewerthe eine sehr andere als für den Trichromaten ist. Es läßt sich leicht zeigen, daß die geringe Empfindlichkeit für langwelliges Licht sich in der Gestaltung der den Flimmerwerth darstellenden Curven ebenfalls ausprägt. In Fig. 3 stellen die vier Linien die Vertheilung der



Figur 3.

Flimmerwerthe POLIMANTI -----, Peripheriewerthe POLIMANTI ————, Flimmerwerthe MARX u. Peripheriewerthe MARX — — — —, im Dispersionsspectrum des Gaslichtes.

Flimmerwerthe und der Peripheriewerthe für MARX und mich dar.¹ Es ist wohl berechtigt danach zu sagen, daß auch hier

¹ Ich habe hier für mich nicht die oben bereits dargestellten, sondern neue Versuche zu Grunde gelegt, die fortlaufend alternierend mit den MARX'schen ausgeführt wurden. Mir schien dies wünschenswerth, um den

eine annähernde Uebereinstimmung der beiden Functionen heraus-
tritt. Die Zahlenangaben enthält in gleicher Anordnung wie oben
Tab. V.

Tabelle V.

Peripherie- und Flimmerwerthe von MARX (Protanop)
und POLIMANTI.

Na — 2 664 $\mu\mu$	Na — 1,5 642 $\mu\mu$	Na — 1 624 $\mu\mu$	Na — 0,5 606 $\mu\mu$	Na 589 $\mu\mu$	Na + 1 565 $\mu\mu$	Na + 1,5	Na + 2 543 $\mu\mu$	Na + 3 526 $\mu\mu$	Na- Spalte
Peripheriewerthe (MARX).									
	12,4		55,4	100	122,1		94,0	42,4	19,5
7,9	18,8	34,4	56,6	100	118,7		117,0	83,4	8,4
	17,3	39,0	85,6	100	79,9		78,5	41,0	22,3
8,3	15,5	33,0	86,1	100	104,3		101,5	60,9	16,0
		27,2	58,0	100	86,5		82,6	48,3	25,4
	23,4	46,9	81,7	100	111,9		105,7	76,1	21,9
				100	116,0	99,0	91,7	65,6	28,3
				100			94,6	66,7	
				100	105,9		77,7	73,1	} 30,9
	16,1	34,6	62,2	100	106,0		79,0	71,4	
8,1	17,0	35,8	69,4	100	106,5	99,0	92,2	62,8	24,2
Flimmerwerthe (MARX).									
	33,3	56,0	76,5	100	113,9		89,6	49,8	14,3
11,4	17,9	49,1	77,2	100	113,7		77,6	54,5	25,8
10,5	19,9	51,3	85,5	100	112,0		77,5	50,4	21,2
10,3	23,0	50,2	81,1	100	107,7		79,6	47,8	21,1
9,4	22,0	54,3	77,7	100	109,5		74,2	50,0	22,2
	20,2	43,5	73,1	100	107,0		77,6	52,1	33,0
15,1	28,6	49,9	85,4	100	122,9		82,3	61,7	16,3
13,5	21,6	48,5		100			78,0	47,2	19,4
				100	116,9	91,3	87,2	60,0	} 10,4
				100	107,4	109,3	75,2	56,9	
				100			73,2	53,5	
11,7	23,3	50,3	79,5	100	112,3	100,3	79,3	53,0	20,4

Unterschied der beiden Sehorgane ganz einwurfsfrei hervortreten zu lassen.
Ebenso verfuhr ich bei dem Vergleich mit NAGEL.

Na — 2	Na — 1,5	Na — 1	Na — 0,5	Na	Na + 1	Na + 1,5	Na + 2	Na + 3	Na-Spalte
664 $\mu\mu$	642 $\mu\mu$	624 $\mu\mu$	606 $\mu\mu$	589 $\mu\mu$	565 $\mu\mu$		543 $\mu\mu$	526 $\mu\mu$	

Peripheriewerthe (POLIMANTI).

	32,4	46,1	66,7	100	77,3		50,3	29,5	9,6
21,7	32,4	51,6	71,8	100	87,3		71,8	45,0	7,0
	48,7	67,0	86,5	100	66,5		53,8	31,5	13,8
39,0	50,9	61,7	88,5	100	85,5		63,7	48,1	14,9
		71,9	86,9	100	83,1		50,2	38,3	15,9
	62,7	83,1	100,4	100	72,3		55,3	44,6	16,7
				100	73,0	55,5	47,3	32,7	} 20,0
				100		53,0	46,5	27,5	
				100	74,9	50,3	48,2	36,8	} 20,1
				100	71,4	66,0	47,3	29,9	
30,3	45,4	63,5	83,4	100	76,8	56,2	53,4	36,3	14,7

Flimmerwerthe (POLIMANTI).

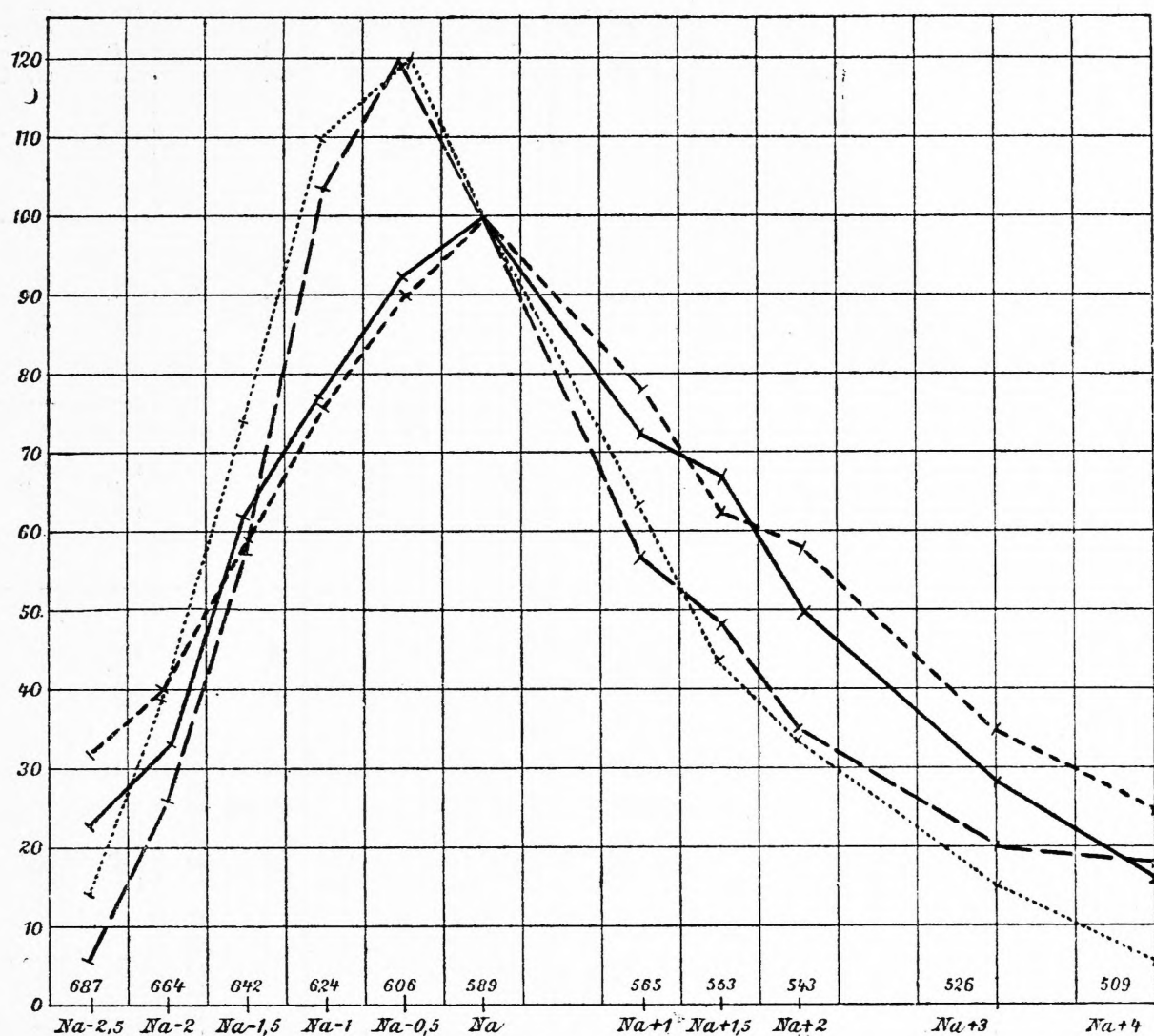
	56,4	76,1	87,9	100	80,4		51,4	37,3	18,4
41,8	66,0	81,7	94,7	100	82,5		59,4	35,8	25,8
41,0	58,9	76,8	93,8	100	64,5		52,0	27,2	18,9
34,7	60,3	83,8	92,7	100	73,7		53,7	32,0	19,0
35,8	60,5	82,7	93,9	100	79,6		49,3	29,8	18,3
	66,7	82,3	94,1	100	81,6		66,4	45,7	35,4
				100	80,1	58,5	45,9	28,7	8,2
				100	69,9	51,5	39,1	29,0	9,3
				100		53,4	30,6		9,2
38,3	61,4	80,5	92,8	100	76,5	55,0	52,2	32,9	18,0

Der Vergleich mit den Beobachtungen des Deuteranopen zeigt Aehnliches. Die Ergebnisse sind in den Tabellen VI und in Fig. 4 niedergelegt. Die Unterschiede sind hier zwar geringer, aber immerhin deutlich. In der Beurtheilung dieser Verhältnisse macht sich nun aber eine gewisse Schwierigkeit geltend. Es zeigt sich, wie gesagt, hier, daß die NAGEL'schen Peripherie-

Tabelle VI. Flimmer- und Peripheriewerthe für NaGEL (Deutanop) und POLIMANTI.

Na — 2,5	Na — 2	Na — 1,5	Na — 1	Na — 0,5	Na	Na + 1	Na + 1,5	Na + 2	Na + 3	Na-Spalte
	664 $\mu\mu$	642 $\mu\mu$	624 $\mu\mu$	606 $\mu\mu$	589 $\mu\mu$	565 $\mu\mu$	553 $\mu\mu$	543 $\mu\mu$	526 $\mu\mu$	
Peripheriewerthe (NaGEL).										
6,0	19,3	45,9	99,6	103,1	100	51,9	38,9	25,9	18,0	} 16,2
	34,5	69,4	105,7	137,8	100	63,5	58,3	43,7	22,1	
6,0	26,6	57,6	102,6	120,4		57,7	48,6	34,8	20,0	16,2
Flimmerwerthe (NaGEL).										
	44,1	83,8	101,1	131,5	100	63,6	43,1	35,4	18,4	18,57
12,0	36,7	68,7	117,4	107,4	100	62,4		29,1	11,7	30,09
14,7	39,2	67,6			100				20,8	14,85
13,3	40,0	73,3	109,2	119,4	100	63,0	43,1	32,2	15,0	19,5
Peripheriewerthe (POLIMANTI).										
17,9	31,6	58,5	76,2	100,6	100	70,5	62,7	49,7	26,1	} 22,8
27,8	35,4	67,0	79,5	84,3	100	74,8	70,0	51,2	31,4	
22,6	33,5	62,7	77,8	92,4	100	72,6	66,3	50,4	28,7	22,8
Flimmerwerthe (POLIMANTI).										
	39,1	62,1	74,1	96,1	100	76,9	62,5	51,7	28,1	22,63
38,8	42,7	59,3	81,4	88,7	100					
34,6	42,4	58,7	74,1	86,3	100	78,8		64,9	42,3	33,89
21,6	39,3	53,8			100					23,03
31,6	40,8	58,4	76,5	90,3	100	77,8	62,5	58,3	35,2	25,6

und Flimmerwerthe sich von den meinigen deutlich unterscheiden. v. KRIES fand den Unterschied seiner Peripheriewerte von den



Figur 4.

Flimmerwerthe POLIMANTI -----, Peripheriewerthe POLIMANTI —————, Flimmerwerthe NAGEL , Peripheriewerthe NAGEL ————, im Dispersionsspectrum des Gaslichtes.

NAGEL'schen so geringfügig, daß über seine reale Existenz sogar Zweifel entstehen konnten. Es ergibt sich aus dem Vergleich beider Thatsachen, daß, wie ja auch oben schon angeführt wurde, zwischen meinen Peripheriewerthen und den von KRIES für sein Auge gefundenen ein merklicher Unterschied stattfindet. Für ihn lag das Maximum des Peripheriewerths, ähnlich wie für NAGEL noch etwas rothwärts von der Na-Linie, für mich war dies nicht festzustellen. Die Differenz konnte darauf hindeuten, daß ich für die Peripherie-Untersuchungen keine so vollkommene Helladaptation bewirken konnte. Nimmt man aber dies an, so erscheint wieder die sehr gute Uebereinstimmung der Peripheriewerthe mit den (central bestimmten) Flimmerwerthen unverständlich. Eine sichere Beurtheilung der Frage, wie das Verhältniß des Deuteranopen zum Trichromaten aufzufassen ist, wird daher erst möglich sein, wenn wir die unter den Trichro-

maten anzutreffenden kleinen Unterschiede bezüglich der Peripherie- und Flimmerwerthe mit gröfserer Sicherheit, als jetzt, beurtheilen können.

Obgleich eine Ermittlung derjenigen Frequenz der Lichtwechsel, die zur Erzeugung einer continuirlichen Empfindung erforderlich ist, nicht eigentlich im Plane meiner Arbeit lag, so habe ich doch auch in dieser Richtung eine Anzahl von Beobachtungen angestellt. Es wurde hierbei etwa so zu Werke gegangen, wie es auch SCHENCK gethan hat, so nämlich, dafs den rotirenden Scheiben für einige Zeit diejenige Geschwindigkeit gegeben wurde, die für das Aufhören des Flimmerns gerade ausreichend ist. Dies kann freilich nur so geschehen, dafs man die Geschwindigkeit abwechselnd ein wenig steigert und dann wieder vermindert, bis das Flimmern aufhört resp. wieder bemerkbar wird. Bei einiger Uebung gelingt es aber, mit relativ geringen Schwankungen sich auf diese Weise stets ganz nahe an dem eigentlichen Grenzwert zu halten. Regulirt man den Elektromotor so, dafs er bei dauerndem Stromschlufs eine überschüssig grofse Geschwindigkeit unterhält, so gelingt es recht gut, jenes Ergebnifs durch abwechselndes Oeffnen und Schliesen des treibenden Stromes zu erzielen; die Geschwindigkeit mufs bei Stromschlufs langsam zunehmen; 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.

Die Versuche, die ich in dieser Weise angestellt habe, lieferten in mancher Hinsicht überraschende Ergebnisse. Ich wünschte zunächst zu erfahren, ob, wenn man ein weisses Licht mit verschiedenen farbigen, die aber immer in flimmer-äquivalenter Stärke genommen sind, intermittiren läfst, alsdann für alle Farben die gleichen Intermittenz-Zahlen gefunden werden oder ob sich eine deutliche Abhängigkeit von der Wellenlänge des betr. homogenen Lichtes bemerklich macht. Als Ergebnifs zweier Versuchsreihen führe ich die folgenden Zahlen an:

Tabelle VII.

Zahl der für continuirliche Empfindung erforderlichen Lichtwechsel pro Secunde bei wechselnder Einwirkung von Weiß und flimmeräquivalenten homogenen Lichtern.

— 2,5	— 2	— 1,5	— 1	— 0,5	Na	+ 1	+ 2	+ 3
33,9	35,0	34,9	35,0	37,2	38,8	37,2	38,3	36,9
34,4	33,6	36,1	34,8	42,0	40,3	34,2	32,4	37,0

Sie lassen, wie mir scheint, keinen sicheren Schluss auf eine Abhängigkeit dieser Intermittenzzahlen von der Wellenlänge zu. Ueberraschend war mir aber besonders der verhältnißmäfsig hohe Werth dieser Zahlen überhaupt. Nimmt man an, dafs in den beiden hier abwechselnden Lichtern derjenige Reizwerth, dessen Wechsel vorzugsweise prompt empfunden werden, gleich gemacht ist, das Flimmern also nur durch die wechselnde Einwirkung auf andere, trägere Theile, bewirkt wird, so hätte man erwarten dürfen, dafs zur Beseitigung dieses Flimmerns nun relativ langsame Oscillationen der Reize ausreichen würden. Es zeigt sich, dafs dies nicht der Fall ist, womit sich dann sogleich eine allgemeinere auf die ganze Methode bezügliche Frage erhebt. Die Ermittlung von Flimmerwerthen beruht darauf, dafs beim Wechsel zweier Lichter, die flimmeräquivalent sind, geringere Intermittenzzahlen, weniger häufige Wechsel erforderlich sind, als wenn die Lichter nicht in jenem Verhältnifs stehen. Für die Beurtheilung der ganzen Methode erschien es von Interesse, zu erfahren, wie grofs etwa diese Unterschiede sind.

Auch hier war nun das Ergebnifs insofern ein überraschendes, als diese Differenzen sich so gering herausstellten, dafs sie über die Grenzen der der einzelnen Bestimmung anhaftenden Unsicherheit nur wenig hinausgehen. Als Beleg hierfür stelle ich die eben angeführten Zahlen zusammen mit anderen, bei welchen die verschiedenen homogenen Lichter nicht mit dem flimmeräquivalenten Weiß sondern mit Schwarz wechselten, indem auf den Kreisel eine mit schwarzem Tuchpapier überzogene Scheibe aufgesetzt war.

Tabelle VIII.

Zahl der für continuirliche Empfindung erforderlichen Lichtwechsel pro Secunde: 1. bei Wechsel der homogenen Lichter mit flimmeräquivalentem Weifs; 2. bei Wechsel der homogenen Lichter mit Schwarz.

	— 2,5	— 2,0	— 1,5	— 1	— 0,5	Na	+ 1	+ 2	+ 3
Wechsel mit Weifs	33,9	35,0	34,9	35,0	37,2	38,8	37,2	38,3	36,9
Wechsel mit Schwarz	36,3	36,0	37,0	36,4	40,0	40,5	39,1	37,6	38,0
Wechsel mit Weifs	34,4	33,6	36,1	34,8	42,0	40,3	34,2	32,4	37,0
Wechsel mit Schwarz	37,0	34,3	38,3	38,8	41,0	40,3	40,0	37,0	39,3

Die Unterschiede sind, wie man sieht, durchweg sehr gering.¹ Es ist also jedenfalls merkwürdig, daß, wenn man die Intensität des homogenen Lichts ändert, mag man sie gröfser oder kleiner machen, das bei der Aequivalenz unbemerkbare Flimmern so deutlich zur Erscheinung kommt, dann aber doch eine relativ geringfügige Steigerung der Geschwindigkeit ausreicht um die Empfindung wieder stetig zu machen.

Etwas einigermaafsen Aehnliches trat mir auch bei einer anderen Beobachtung entgegen und erwies sich auch hier als Hinderniß für die messende Verfolgung der Erscheinung. Die Flimmerbeobachtungen wurden, wie erwähnt, immer so ausgeführt, daß das betr. Feld wenigstens annähernd fixirt wurde. Es war stets leicht zu bemerken, daß bei einer Geschwindigkeit, die ausreichte, um central das Flimmern aufhören zu lassen, dieses wieder deutlich sichtbar wurde, wenn bei veränderter Augenstellung das Feld in mäfsiger Excentricität gesehen wurde. Eine genauere Untersuchung des Phänomens, das in mancher Richtung von Interesse ist, mußte zunächst darauf ausgehen, in der oben erwähnten Weise und unter ganz gleichen Bedingungen einmal für centrale Fixation, sodann für eine gewisse Excentricität die zum Verschwinden des Flimmerns gerade hinreichenden Geschwindigkeiten aufzusuchen. Das (in diesem Falle auf etwa

¹ Da ich irgend welche Fehlerquellen fürchtete, so habe ich auch Versuche in der Art angestellt, daß das Licht der weissen rotirenden Scheibe einmal mit einem flimmeräquivalenten homogenen, sodann, indem der Spalt des Spectralapparats ganz geschlossen wurde, mit Schwarz wechselte. Auch so erhielt ich nur geringe Differenzen der Intermittenzahlen.

Tabelle IX. Intermittenzahlen bei centraler und peripherer Beobachtung.

Sehen	Na — 2,5 687 $\mu\mu$	Na — 2 664 $\mu\mu$	Na — 1,5 642 $\mu\mu$	Na — 1 624 $\mu\mu$	Na — 0,5 606 $\mu\mu$	Na 589 $\mu\mu$	Na + 1 565 $\mu\mu$	Na + 2 543 $\mu\mu$	Na + 3 526 $\mu\mu$	Na + 4 509 $\mu\mu$
C.	* 41,5	41,0	45,6	42,7	44,0	45,1	44,5	41,6	41,5	38,5
P.	38,7	41,2	42,3	45,7	47,6	47,2	46,7	45,5	45,5	41,8
D.	— 0,28	— 0,2	— 3,3	+ 3	+ 3,6	+ 2,1	+ 2,2	+ 3,9	+ 4	+ 3,3

C.	43,7	43,2	44,2	42,6	44,5	43,0	45,0	48,5	44,0	43,1
P.	43,3	44,5	44,5	41,8	45,6	47,0	49,4	50,2	47,7	45,9
D.	— 0,4	+ 1,3	+ 0,3	— 0,8	+ 1,1	+ 4	+ 4,4	+ 1,7	+ 3,7	+ 2,8

C.	44,9	44,2	42,5	45,2	47,3	47,5	45,7	43,3	45,1	43,7
P.	45,4	43,1	44,1	45,3	47,5	48,1	49,5	46,5	46,2	45,8
D.	+ 0,5	— 1,1	+ 1,6	+ 0,1	+ 0,2	+ 0,6	+ 3,8	+ 3,2	+ 1,1	+ 2,1

C.	43,8	45	43,4	45,6	45,8	46,1	44,5	44,4	46,6	46,1
P.	44,4	44,3	43,6	44,5	50,5	53,3	51,7	50,5	53,0	51,5
D.	+ 0,6	— 0,7	+ 0,2	— 1,1	+ 4,7	+ 7,2	+ 7,2	+ 6,1	+ 6,4	+ 5,4

* Je 5 Versuche.

4,5° Durchmesser vergrößerte) Feld wurde einmal annähernd central fixirt; in den anderen Versuchen war das Auge auf ein von der Mitte des Feldes etwa 15° entfernte Fixationsmarke gerichtet. Die nebenstehende Tabelle IX zeigt eine Anzahl in dieser Art ausgeführter Versuche, bei denen verschiedene homogene Lichter in etwa flimmeräquivalenten Stärken, mit Weiß abwechselnd, einwirkten. In der Tabelle bedeutet C. central und P. Peripherie, D. die Differenz und zwar mit positivem Vorzeichen, wenn bei peripherer Beobachtung die grössere Intermittenzzahl gefunden wurde. Die Differenzen sind, wie man sieht, nirgends sehr groß, aber mit ganz wenigen Ausnahmen doch stets positiv. Daß also der untersuchte excentrische Netzhauttheil eine etwas grössere Empfindlichkeit gegen die Lichtoscillationen besitzt, stellt sich, wie beim directen Vergleich, so auch hier heraus. Abgesehen hiervon scheinen die Versuche noch zu ergeben, daß diese Differenz mit abnehmender Wellenlänge deutlicher hervortritt, richtiger gesagt erst vom Na-Licht ab sicher zu constatiren ist, während sie in den langwelligen Lichtern noch ganz in die Fehlergrenzen fällt. Unzweifelhaft knüpfen sich an dieses Ergebniss allerhand Fragen, die theoretisch nicht ohne Bedeutung wären, doch scheint die Behandlung derselben zunächst nicht sehr aussichtsreich, weil die Differenzen, die sich herausstellen, im Vergleich zu der Unsicherheit der Bestimmung gering sind, so daß sie immer erst in den Durchschnittszahlen gehäufte Versuche hervortreten. Ich habe daher von weiterer Verfolgung des Gegenstandes einstweilen abgesehen.

(Eingegangen am 25. October 1898.)
