Ueber intermittirende Netzhaut-Reizung.

Zehnte Mittheilung.

Von

Prof. **F. Schenck** und Dr. **W. Just**.

(Mit 4 Textfiguren.)

In der siebenten und achten Mittheilung¹⁾ war über Beobachtungen berichtet worden, welche gegen die Ansicht Fick's sprechen, dass die Netzhaut-Erregung bei intermittirender Reizung jedes Mal während der Dauer der Lichteinwirkung zunimmt, während des lichtlosen Intervalls abnimmt, derart, dass der Verlauf der Erregung durch eine zickzackförmige Curve dargestellt werden kann. Der Hauptversuch, der zu diesem Schlusse führte, war folgender: Auf einer Kreiselscheibe befanden sich zur Vergleichung zwei concentrische Ringe, von denen der innere aus 4 abwechselnd schwarzen und weissen Sektoren von je 90° Breite bestand; der äussere war zur Hälfte ausgefüllt mit einem, der Sektorenmischung des inneren Ringes an Helligkeit gleichen Grau²⁾, während die andere Hälfte beiderseits, anschliessend an das Grau, je einen weissen Sector von 45° und zwischen den weissen einen schwarzen von 90° trug (Fig. 4 der achten Mittheilung). Nach Fick's Lehre hätte man nun beide Ringe gleich schnell drehen müssen, um gleichmässiges Grau zu erhalten, den äusseren vielleicht eher langsamer. In Wirklichkeit musste aber der halb graue Ring etwa 1,6 Mal schneller gedreht werden als der andere.

1) Dieses Archiv Bd. 68 S. 48 und Bd. 77 S. 44.

2) In diesem Versuche wurde übrigens die eine Hälfte nicht mit gleichmässigem Grau bedeckt, sondern mit einer grösseren Zahl abwechselnd schwarzer und weisser Sektoren von geringer Breite, die zusammen bei der in Betracht kommenden Umdrehungsgeschwindigkeit hinsichtlich ihrer Wirkung dem gleichmässigen Grau gleichgesetzt werden durften.

Im Folgenden wollen wir nun berichten über Versuche¹⁾, die wir anstellten in der Hoffnung, weitere Aufschlüsse über den Verlauf der Netzhaut-Erregung bei intermittirender Reizung zu erhalten, und die im Allgemeinen darin bestanden, dass wir — diesmal unter Verwendung „gleichmässigen“ Graus (s. unten) — feststellten, welchen Einfluss in dem eben beschriebenen Versuch Aenderungen in der Anordnung des Graus und der Sektoren des äusseren Ringes auf die zur Verschmelzung nöthige Umdrehungsgeschwindigkeit hatten.

Bevor wir jedoch auf diese Aenderungen eingehen, scheint es uns nöthig zu sein, einen Einwand zurückzuweisen, den inzwischen Samojloff²⁾ gegen den ursprünglichen Versuch erhoben hat.

Samojloff behauptet, eine Vergleichung der beiden Ringe habe desswegen keine Beweiskraft gegen die Fick'sche Theorie der sägeförmigen Erregungscurve, weil während einer Umdrehung der innere Ring zwei gleiche Perioden liefert, der äussere aber nur eine. Es dürfe, so meint Samojloff, der äussere Ring nur mit einem Ringe verglichen werden, der gleichfalls nicht mehr als eine Periode während einer Umdrehung aufweist, also nur mit einem Ringe von zwei Sektoren, einem schwarzen und einem weissen von je 180°.

Wie unberechtigt diese Forderung ist, lehrt eine sehr einfache Ueberlegung. Bei der von Samojloff vorgeschlagenen Aenderung der Versuchsanordnung würde sich allerdings für die beiden zu vergleichenden Ringe ein anderes Verhältniss der Umdrehungszahlen ergeben als im ursprünglichen Versuch, da ja, wie wir längst wissen, ein Ring von 2 Sektoren zur Verschmelzung doppelt so schnell gedreht werden muss als ein Ring von 4 abwechselnd schwarzen und weissen Sektoren. Aber die Zahl der in einer Secunde ablaufenden Perioden oder, was dasselbe ist, die Dauer jeder einzelnen Periode würde offenbar bei beiden Versuchsanordnungen nach eben eingetretener Verschmelzung die gleiche sein. Und darauf allein kommt es in unserem Falle an, nicht auf die Zahl der während einer Umdrehung ablaufenden Perioden, aus folgenden Gründen.

1) Die Versuche wurden angestellt im physiologischen Institut zu Würzburg (abgeschlossen daselbst im März 1901). Für die Ueberlassung der dazu nöthigen Apparate etc. sind wir Herrn Prof. v. Frey zu Dank verpflichtet.

2) Dieses Archiv Bd. 85 S. 90 ff.

Nach der Fick'schen Theorie muss in zwei beliebigen Fällen von intermittirender Netzhaut-Reizung nach eben eingetretener Verschmelzung die Höhe und Steilheit der, in bekannter Weise construirten, sägeförmigen Zacken der Erregungscarven gleich sein. Oder, anders und für den speciellen Fall der Verwendung rotirender Scheiben ausgedrückt: Construiert man für zwei beliebige Reizanordnungen bei einer und derselben, übrigens beliebigen, Umdrehungsgeschwindigkeit die Erregungscurven, wie sie nach Fick's Theorie ausfallen würden, so ist die Verschmelzung bei derjenigen von beiden Anordnungen früher, d. h. bei geringerer Umdrehungsgeschwindigkeit, zu erwarten, in welcher die Zacken weniger hoch und weniger steil sind. Schon daraus, dass in dieser allgemeinen Formulirung der Fick'schen Theorie die Periode überhaupt nicht vorkommt, ergibt sich, dass dieselbe mit jener Theorie (bei der es sich lediglich um den zeitlichen Verlauf der Erregung handelt) gar nichts zu thun hat, vielmehr als ein durchaus nebensächliches, nur durch die Verwendung von Kreisscheiben bedingtes, rein äusserliches Moment zu betrachten ist¹⁾. Dasselbe lehrt aber auch die Anwendung auf unseren speciellen Fall. Nimmt man nämlich jene Construction bei unserer Scheibe vor, so zeigt die Erregungscurve für den äusseren Ring denselben Abfall wie die für den inneren, aber einen langsameren Anstieg (Fig. 2 der achten Mittheilung). Es wäre also nach der Fick'schen Theorie zu erwarten, dass der äussere Ring zur Verschmelzung langsamer gedreht werden muss als der innere. Thatsächlich muss er aber bedeutend schneller gedreht werden, woraus sich ergibt, dass, entgegen der Fick'schen Theorie, Höhe und Steilheit der sägeförmigen Zacken, nach eben eingetretener Verschmelzung, in beiden Ringen verschieden sein müssen.

Wie gestalten sich nun die Verhältnisse bei der von Samojloff vorgeschlagenen Anordnung? Dreht man unseren äusseren Ring ebenso schnell wie den Ring von 180° Weiss und 180° Schwarz, so ist die Höhe der Zacken bei diesem zwei Mal so gross wie bei jenem. Erst wenn der Ring von zwei Sektoren doppelt so schnell gedreht wird wie unser äusserer Ring, ist die Höhe der Zacken

1) Um sich die Richtigkeit dieses Satzes noch klarer zu machen, betrachte man unten z. B. die Reizcurven *a* und *b* in Fig. 1: hier ist das Eigenthümliche der Kreisscheiben thatsächlich ausgeschaltet!

für beide Ringe gleich. Da dann aber immer noch der oben erwähnte langsamere Anstieg für unseren äusseren Ring besteht, so sollte man erwarten, dass der Samojloff'sche Ring von zwei Sektoren noch mehr als doppelt so schnell gedreht werden muss wie jener. Diese Erwartung entspricht aber den Thatsachen ebenfalls nicht. Denn den in der achten Mittheilung gefundenen Umdrehungszahlen, $U_i = 25$ für unseren inneren und $U_a = 39$ für den äusseren Ring, würden bei der Samojloff'schen Anordnung für das Auge desselben Beobachters (Schenck) die Umdrehungszahlen $U_s = 50$ ($= 2 U_i$; s. oben) für den Ring von 2 Sektoren und $U_a = 39$ für den anderen Ring entsprechen. Wir haben also, in Formeln ausgedrückt, für die beiden besprochenen Anordnungen:

Erwartet:	Gefunden:
$U_i \geq U_a$	$U_i < U_a$
$U_s \geq 2 U_a$	$U_s < 2 U_a$

Die von Samojloff geforderte Anordnung würde also genau dasselbe gegen die Fick'sche Theorie beweisen, wie die in der achten Mittheilung getroffene. Der Einwand Samojloff's beruht daher auf einem Missverständniss.

Wir wollen nun unsere, oben nur im Allgemeinen skizzirten, neuen Versuche im Einzelnen beschreiben.

Folgende Aenderungen der ursprünglichen Versuchsanordnung waren möglich:

1. Anstatt gerade die Hälfte der Scheibe mit Grau zu bedecken, konnte man einen grösseren oder geringeren Theil damit ausfüllen, während der übrig bleibende Theil wiederum von drei Sektoren eingenommen wurde, deren relative Anordnung gerade so war wie im ursprünglichen Versuch: ein schwarzer Sector zwischen zwei halb so breiten weissen Sektoren.

2. Statt den vom Grau frei gelassenen Theil der Scheibe nur ein Mal mit der schwarz-weissen Sektorengruppe (wie die beschriebene Anordnung der drei Sektoren im Folgenden kurz bezeichnet werden soll) zu versehen, konnte man ihn mehrmals mit dieser Gruppe besetzen. Die Breite der einzelnen Sektorengruppen musste dann natürlich umgekehrt proportional ihrer Zahl abnehmen. Wenn z. B. statt der einen schwarz-weissen Sektorengruppe des ursprünglichen Versuches zwei auf die eine Scheibenhälfte gebracht wurden, so sah diese Hälfte so aus: Beiderseits, an das Grau anschliessend, je ein

weisser Sector von $22,5^\circ$, dann je ein schwarzer Sector von 45° , dann wieder je ein weisser Sector von $22,5^\circ$, welche beiden letzteren aber an einander stiessen und daher zu einem weissen Sector von 45° sich vereinigten. Wurden etwa vier Sektorengruppen gewählt, so waren die an's Grau angrenzenden weissen Sektoren je $11,25^\circ$ breit, und dazwischen fanden sich sieben abwechselnd schwarze und weisse Sektoren von je $22,5^\circ$ Breite u. s. w.

3. Ausser Aenderung der Breite des Graus und der Zahl der schwarz-weißen Sektorengruppen war endlich noch eine Aenderung der Helligkeit des Graus in Betracht zu ziehen: Die Versuche waren anzustellen mit grauen Papieren von verschiedener Helligkeit, wobei aber berücksichtigt werden musste, dass dann in den Sektorengruppen das Verhältniss der Breite der weissen zu der der schwarzen Sektoren entsprechend der Helligkeit des Graus zu ändern war (denn es sollte ja immer das Sektorengemisch dem Grau an Helligkeit gleich sein).

Die grosse Mannigfaltigkeit von Versuchsanordnungen, die sich hiernach theoretisch ergibt, war nun freilich in einer Hinsicht beschränkt durch eine methodische Schwierigkeit, über welche wir in der neunten Mittheilung berichtet haben. Wir haben dort darauf aufmerksam gemacht, dass Scheiben mit vielen abwechselnd schwarzen und weissen Sektoren oft zur Verschmelzung schneller gedreht werden müssen, als aus den Ergebnissen der Versuche mit Scheiben von wenigen Sektoren zu berechnen ist, und dass die Ursache dieser Erscheinung in Ungleichmässigkeiten der Scheiben (Zeichenfehlern u. s. w.) zu suchen ist. Ja, sogar anscheinend gleichmässig graue Scheiben, für die theoretisch die Umdrehungsgeschwindigkeit 0 zur Verschmelzung genügen müsste, zeigen das Flimmern, wenn man sie dreht, weil sie eben in Wirklichkeit nicht ganz gleichmässig sind; und zwar verschwand das Flimmern in unseren Versuchen erst bei verhältnissmässig grosser Umdrehungsgeschwindigkeit (10–15 Umdrehungen in einer Secunde). Von unseren neuen Versuchen waren demnach diejenigen, „gleichmässiges“ Grau enthaltenden, Anordnungen auszuschliessen, bei denen eine nur wenig grössere oder gar geringere Umdrehungsgeschwindigkeit erforderlich war als für das betreffende graue Papier allein. Denn bei diesen Anordnungen musste jener Versuchsfehler mit im Spiele sein.

Zu den Versuchen wurden drei graue Papiere von verschiedener Helligkeit benutzt, die nach den Angaben Marbe's¹⁾, also photo-

1) Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorgane Bd. 12 S. 62.

graphisch, hergestellt waren. Die Helligkeit der grauen Papiere wurde mit Hülfe des Hering'schen Farbenkreisels bestimmt: durch Vergleichung mit einem Grau, das durch Mischung eines schwarzen und eines weissen Sectors von zusammen 360° und variirbarer Einzelbreite erhalten wurde; es wurde die Breite des schwarzen resp. des weissen Sectors so lange variirt, bis die Sektorenmischung gleich dem Grau des Papiers war. Jeder von uns machte mit jedem grauen Papier sechs Einzelbestimmungen, derart, dass zur Aufsuchung der richtigen Sektorenmischung in je drei Bestimmungen von einer zu dunklen, in den anderen drei Bestimmungen von einer zu hellen Mischung ausgegangen wurde.

Die Mittelwerthe von je sechs Einzelbestimmungen stimmten für jedes der grauen Papiere bei uns Beiden nahezu überein, so dass wir ohne nennenswerthen Fehler das Mittel aus sämtlichen zwölf Einzelbestimmungen für jedes Papier verwenden konnten (wodurch es später möglich wurde, bei unseren eigentlichen Versuchen für uns Beide stets je ein und dieselbe der sogleich zu beschreibenden Sektorenscheiben zu benutzen). Es ergab sich:

1. Hellgraues Papier = Mischung von 104° Schwarz und 256° Weiss,
2. Mittelgraues „ = „ „ 195° „ „ 165° „
3. Dunkelgraues „ = „ „ 292° „ „ 68° „

Entsprechend den so für Schwarz und Weiss erhaltenen Zahlen musste nun in der schwarz-weissen Sektorengruppe das Verhältniss der Breite der beiden weissen Sektoren zu der des schwarzen Sectors construirt werden.

Die Rotation der Kreiselscheiben und die Registrirung der Zahl der Umdrehungen geschahen in derselben Weise wie früher (dieses Archiv Bd. 68 S. 35 Anm. 2). Auf den Kreiselscheiben waren die grauen Papiere und die Sektorengruppen, die zur Verwendung kommen sollten, in folgender Weise angeordnet:

Auf einer weissen Scheibe aus Barytpapier von 8 cm Radius waren drei concentrische Ringe von je 14 mm Breite construirt, und zwar so, dass die innere Grenze des inneren Ringes 25 mm, die des mittleren Ringes 43 mm und die des äusseren 61 mm vom Mittelpunkt entfernt war. Der innere Ring wurde nun mit vier abwechselnd schwarzen und weissen Sektoren versehen, der mittlere mit 8, der äussere mit 16; und zwar wurde für jedes graue Papier eine solche Sektorenscheibe construirt, wobei das Verhältniss der

Breite der schwarzen und weissen Sektoren natürlich jedes Mal entsprechend der Helligkeit des betreffenden Graus gewählt wurde. Das Schwarz wurde dabei nicht auf die Scheibe aufgezeichnet, sondern es wurden die Stellen der Scheibe, die schwarz werden sollten, ausgeschnitten, und auf die Rückseite der Scheibe wurde schwarzes Wollpapier geklebt, das durch die Ausschnitte zu sehen war. Die Sektoren der drei Ringe waren so gelegt, dass durch einen einzigen, radiär geführten Schnitt in jedem Ring ein weisser Sector genau halbiert werden konnte. Aus dem grauen Papier wurde eine gleich grosse Scheibe ausgeschnitten und ebenfalls mit einem radiären Schlitz versehen. Die beiden Scheiben konnten nun in bekannter Weise in einander geschaltet und so gegen einander verschoben werden, dass ein beliebig grosses Stück der Sektorenscheibe durch das Grau verdeckt wurde.

Wenn z. B. die Hälfte der Sektorenscheibe mit Grau zugedeckt wurde, so hatte man auf der anderen Hälfte im inneren Ring eine schwarz-weiße Sektorengruppe (diese Anordnung ist gleich der im eingangs beschriebenen Hauptversuch), im mittleren Ring zwei Sektorengruppen, im äusseren vier. Wurde nur ein Viertel der Sektorenscheibe durch Grau verdeckt, so hatte man im mittleren Ring drei, im äusseren sechs schwarz-weiße Sektorengruppen. U. s. w.

Ausser den beschriebenen drei Sektorenscheiben wurde endlich noch eine vierte construiert, die auch drei Ringe enthielt. Von diesen Ringen wurden 90° durch Grau abgedeckt; die übrigen 270° enthielten je eine schwarz-weiße Sektorengruppe, und zwar der innere Ring die für das Hellgrau zu verwendende, der mittlere die für das Mittelgrau, der äussere die für das Dunkelgrau.

Mit Hülfe der vier Sektorenscheiben und der drei grauen Scheiben liessen sich alle Anordnungen herstellen, von denen im Folgenden die Rede sein wird.

Zweckmässig dürfte es sein, eine kurze Ausdrucksweise zu suchen, durch welche jede einzelne der möglichen Anordnungen hinreichend deutlich bezeichnet werden kann. Die Grössen, welche angegeben werden müssen, um die einzelne Anordnung zu definiren, sind folgende:

1. Breite des Graus,
2. Gesamtbreite der schwarz-weißen Sektorengruppen,
3. Zahl der schwarz-weißen Sektorengruppen,
4. Breite einer einzelnen schwarz-weißen Sektorengruppe.

Bildet man nun einen Bruch, dessen Zähler die Gesamtbreite (in Winkelgraden), dessen Nenner die Zahl der schwarz-weißen Sektorengruppen angibt, so gibt dieser Bruch selbst die Breite einer einzelnen Sektorengruppe an. Und subtrahirt man den Zähler dieses Bruches von 360° , so erhält man die Breite des Graus. Da also die angeführten vier Grössen sämmtlich aus unserem Bruch, theils unmittelbar, theils durch einfachste Berechnung, zu entnehmen sind, so wollen wir uns im Folgenden dieses Bruches als eines kurzen Ausdrucks für die jeweilige Versuchsanordnung bedienen. Dass diese Ausdrucksweise auch für den Fall ausreicht, wo überhaupt kein Grau auf der Sektorenscheibe ist (Zähler = 360°), bedarf wohl keiner Erläuterung.

Die Beobachtung der Ringe geschah durch ein Loch in einem Stück von jeweils demselben grauen Papier wie auf der Scheibe. Der Durchmesser des Loches betrug in manchen Versuchsreihen 5 mm, in anderen 1,5 mm. Das Loch befand sich 30 cm, das beobachtende Auge 50 cm von der Scheibe entfernt. Auge und Loch wurden so eingestellt, dass von der rotirenden Scheibe weiter nichts zu sehen war als eine Zone innerhalb des gerade zu untersuchenden Ringes.

Wir kommen nun zur Mittheilung unserer Versuchsergebnisse und beginnen mit den Versuchen, die mit dem Mittelgrau angestellt worden sind.

Die folgende Tabelle (S. 278) gibt für das Mittelgrau an, wieviel Umdrehungen der Scheibe in einer Secunde bei den verschiedenen Versuchsanordnungen zum Eintritt der gleichmässigen Empfindung für den Einen von uns (Schenck) erforderlich sind, und zwar bei Beobachtung durch das Loch von 5 mm. Ferner gibt die Tabelle an, wie lange in jedem Versuche bei einer Umdrehung der Scheibe einwirken: 1. das Grau, 2. eine einzelne schwarz-weiße Sektorengruppe, 3. alle schwarz-weißen Sektorengruppen zusammen. Diese Zeiten sind aus den Mittelwerthen der Umdrehungszahlen berechnet und finden sich in der Tabelle rechts von diesen Mittelwerthen.

Was lehren nun diese Zahlen?

Um diese Frage in möglichst anschaulicher Weise beantworten zu können und dadurch spätere Betrachtungen über den Verlauf der Netzhaut-Erregung bei der intermittirenden Reizung zu erleichtern, haben wir für jede einzelne Versuchsanordnung zunächst den zeitlichen Verlauf des Reizes graphisch dargestellt, indem wir die

Versuchs- an- ordnung	Zahl der Umdrehungen in 1 Secunde					Zeit der Einwirkung (in Tausendstel-Secunden)		
	Einzelwerthe				Mittel- werth	des Graus	einer Sectoren- gruppe	aller Sectoren- gruppen
$\frac{180^{\circ}}{1}$	35,0	35,0	37,0	34,0	35,3	14,2	14,2	14,2
$\frac{180^{\circ}}{2}$	28,0	29,0	30,0	30,0	29,3	17,1	8,5	17,1
$\frac{180^{\circ}}{4}$	20,5	21,5	23,0	22,0	21,8	22,9	5,7	22,9
$\frac{270^{\circ}}{1}$	41,0	40,0	42,0	40,0	40,8	6,1	18,4	18,4
$\frac{270^{\circ}}{3}$	24,0	20,0	25,0	24,0	23,3	10,7	10,7	32,2
$\frac{315^{\circ}}{7}$	15,5	16,0	17,5	fehlt	16,3	7,7	7,7	53,7
$\frac{90^{\circ}}{1}$	26,0	27,0	28,0	26,5	26,9	27,9	9,3	9,3
$\frac{45^{\circ}}{1}$	16,0	17,5	19,0	fehlt	17,5	50,0	7,2	7,2
$\frac{360^{\circ}}{2}$	23,0	23,0	23,0	22,5	22,9	0	21,9	43,7
$\frac{360^{\circ}}{4}$	12,5	12,0	11,0	11,0	11,6	0	21,6	86,2

Reizgrößen als Ordinaten, die Zeiten ihrer Einwirkung als Abscissen in ein rechtwinkliges Coordinatensystem eingetragen haben (Fig. 1—4). Dabei wurde für Schwarz die Ordinate O gewählt, für Weiss eine beliebige positive Ordinate w ; für unser Mittelgrau war dann die Ordinate $\frac{11}{24} \cdot w \left(= \frac{165^{\circ}}{360^{\circ}} \cdot w \right)$ einzutragen. Die Curven beginnen sämtlich mit der Abscisse O , also in der Ordinatenachse, und zwar entspricht ihr Anfangspunkt dem Beginn der auf das continuirliche Grau folgenden Sectorengruppe. Auch die Endpunkte sämtlicher Curven liegen in einer und derselben Ordinate, und zwar in der zur Abscisse $100 \sigma = 0,1 \text{ sec}$ gehörigen. Mit Hülfe dieser letzten Angabe lässt sich natürlich der Zeitwerth jeder beliebigen anderen Abscisse leicht erhalten.

Diese Darstellungsweise hat einen leicht ersichtlichen Vorthail. Es lassen nämlich sämtliche Reizcurven, auf die im Folgenden verwiesen werden wird, nur das Wesentliche jedes Versuches

erkennen, d. h. die Einwirkungen, die das Auge in jedem Versuche während einer bestimmten Zeit ($\frac{1}{10}$ Secunde) erfährt. Da-

Fig.1: **Fig.2:** **Fig.3:** **Fig.4:**

gegen geben die Curven über alles Nebensächliche (Dauer einer Scheibenumdrehung, Zahl der auf eine Umdrehung entfallenden Perioden) keinen Aufschluss. So kann man z. B. der Curve *a* in Fig. 1 nicht ansehen, wieviel schwarze und weisse Sectoren bei

dem betreffenden Versuch auf der Scheibe angebracht waren. Und die Curve *b* in Fig. 2 könnte an und für sich auch entsprechen z. B. einer halb so schnell rotirenden Scheibe mit zwei grauen Sektoren von je 90°, die durch zwei Sektorengruppen von einander getrennt sind u. s. w.

Ausserdem bringen die Curven in ihrer Gesammtheit die Unzulänglichkeit der Fick'schen Theorie der sägeförmigen Erregungscurve unmittelbar zur Anschauung. Nach dieser Theorie müssten nämlich die der Einwirkung des Schwarz entsprechenden Curven-Thäler in sämtlichen Curven gleich breit sein, was aber, wie ein flüchtiger Blick auf die Curven lehrt, auch nicht annähernd der Fall ist.

Im Einklang mit dieser graphischen Darstellung wollen wir im Folgenden auch bei der Ableitung unserer allgemeinen Sätze alle Ausdrücke vermeiden, die auf unwesentliche Eigenschaften der Kreisel-scheiben-Methode hindeuten, um ähnliche Missverständnisse wie die oben berichtigten von vornherein auszuschliessen. So werden wir z. B. im Folgenden überall, wo wir lediglich das Wesentliche einer Sektorengruppe hervorheben wollen, nämlich den Reizwerth derselben in der Zeit, den Ausdruck schwarz-weiße „Reizgruppe“ an Stelle von „Sektorengruppe“ gebrauchen.

Betrachten wir zunächst die beiden Fälle, in denen gar kein Grau auf der Scheibe war ($\frac{360^\circ}{2}$ und $\frac{360^\circ}{4}$; Fig. 1, *a* und *b*), so finden wir für die Zeit der Einwirkung einer Reizgruppe 21,9 und 21,6 σ , also Werthe, die als gleich gelten können. Die sämtlichen anderen Fälle, in denen mehr oder weniger Grau zwischen die schwarz-weißen Reizgruppen eingeschaltet war, ergeben kleinere Werthe für die Zeit der Einwirkung einer einzelnen Reizgruppe. Damit ist zunächst im Allgemeinen die eingangs citirte Angabe bestätigt.

In welcher Weise hängt nun diese Verkürzung der Dauer der einzelnen schwarz-weißen Reizgruppe von der Dauer des Graus ab?

Zur Beantwortung dieser Frage stellen wir die Fälle zusammen, in denen je eine Sektorengruppe combinirt wurde mit Grau von verschiedener Breite:

Versuchsanordnung:	Dauer des Graus:	Dauer der Sectorengruppe:
$\frac{270^{\circ}}{1}$ (Fig. 2 a)	6,1	18,4
$\frac{180^{\circ}}{1}$ (Fig. 2 b)	14,2	14,2
$\frac{90^{\circ}}{1}$ (Fig. 2 c)	27,9	9,3
$\frac{45^{\circ}}{1}$ (Fig. 2 d)	50,0	7,2

Daraus ergibt sich folgender Satz: Lässt man eine Reizgruppe und gleich helles Grau abwechselnd auf die Netzhaut wirken, so ist die zur Verschmelzung eben hinreichende Dauer der Reizgruppe um so kleiner, je grösser die Dauer des Graus im Verhältniss zur Dauer der Reizgruppe ist.

Was den Einfluss der Zahl der Reizgruppen betrifft, so sind zwei Möglichkeiten zu unterscheiden:

1. Das Grau behält stets dieselbe Dauer wie eine einzelne Reizgruppe, während die Zahl der Reizgruppen wechselt. — Hierher gehören folgende Fälle:

Versuchsanordnung:	Dauer des Graus resp. ¹⁾ einer Sectorengruppe:	Dauer aller Sectorengruppen:
$\frac{180^{\circ}}{1}$ (Fig. 3 a)	14,2	14,2
$\frac{270^{\circ}}{3}$ (Fig. 3 b)	10,7	32,2
$\frac{315^{\circ}}{7}$ (Fig. 3 c)	7,7	53,7

Aus dieser Zusammenstellung ergibt sich: Lässt man eine Anzahl auf einander folgender Reizgruppen und gleich helles Grau von der Dauer einer einzelnen Reizgruppe abwechselnd auf die Netzhaut wirken, so ist die zur Verschmelzung eben hinreichende Dauer einer einzelnen Reizgruppe um so kleiner, je grösser die Zahl der Reizgruppen ist, resp. je grösser die Dauer der Einwirkung aller Reizgruppen im Verhältniss zur Dauer des Graus ist.

1) In diesen Fällen ist natürlich die Zeit der Einwirkung des Graus gleich der Zeit der Einwirkung einer Sectorengruppe.

2. Die Dauer des Graus wird gleich der Gesamtdauer aller Reizgruppen. — Fälle dieser Art sind bei unserer speciellen Scheibenconstruction alle diejenigen, in denen das Grau die Hälfte der Scheibe einnimmt:

Versuchsanordnung:	Dauer des Graus resp. aller Sectorengruppen:	Dauer einer Sectorengruppe:
$\frac{180^\circ}{1}$ (Fig. 4 a)	14,2	14,2
$\frac{180^\circ}{2}$ (Fig. 4 b)	17,1	8,5
$\frac{180^\circ}{4}$ (Fig. 4 c)	22,9	5,7

Daraus folgt: Lässt man eine Anzahl auf einander folgender Reizgruppen und gleich helles Grau von der Gesamtdauer aller Reizgruppen abwechselnd einwirken, so ist die zur Verschmelzung eben hinreichende Dauer einer einzelnen Reizgruppe um so kleiner, je grösser die Zahl der Reizgruppen ist.

Die drei Sätze, die sich aus unseren Beobachtungen ergeben haben, lassen noch eine weitere Folgerung zu.

Wir haben gesehen, dass die Zeit der Einwirkung einer einzelnen Reizgruppe um so kleiner wird, 1. je länger das Grau einwirkt, 2. je grösser die Zahl der Reizgruppen ist oder je länger die Reizgruppen zusammen einwirken. Die Zeit der Einwirkung einer einzelnen Reizgruppe ist nun um so kleiner, je weniger günstig die Bedingungen für die Verschmelzung der Lichtempfindungen bei intermittirender Netzhaut-Reizung sind. Mithin folgt:

Wenn wir die Netzhaut abwechselnd mit einer Anzahl auf einander folgender schwarz-weisser Reizgruppen und mit einem gleich hellen Grau reizen, so ist es für die Verschmelzung der Lichtempfindungen um so ungünstiger, je grösser die Zahl der Reizgruppen ist und je länger die Einwirkung des Graus dauert.

Dies ist das Hauptresultat unserer Versuche. Einen einfachen Ausdruck findet dieses Resultat in der Thatsache, dass der geringste für die Dauer einer einzelnen Sectorengruppe erhaltene Werth (5,7 σ) in dem Falle beobachtet wurde, wo die Breite des Graus und zugleich die Zahl der Sektoren möglichst gross genommen wurde

(d. h. so gross, als es die gleichzeitige Veränderung der beiden maassgebenden Faktoren bei unseren speciellen Versuchseinrichtungen gestattete): bei der Anordnung $\frac{180^0}{4}$.

Anhangsweise wollen wir noch kurz berichten über einige Versuche, welche mit dem Hell- und Dunkelgrau angestellt wurden. Die Resultate ergeben sich aus folgender Zusammenstellung:

Dauer der Einwirkung einer Sektorengruppe (in $\frac{1}{1000}$ sec.) (Beobachter Schenck):

Versuchsanordnung:	Mittelgrau:	Hellgrau:	Dunkelgrau:
$\frac{360^0}{2}$	21,9	22,3	22,2
$\frac{180^0}{1}$	14,2	14,3	15,1
$\frac{180^0}{2}$	8,5	9,8	9,4
$\frac{180^0}{4}$	5,7	6,1	6,0

Die Zeitwerthe sind demnach bei dem Hellgrau und Dunkelgrau im Allgemeinen ein wenig grösser als beim Mittelgrau. Es entspricht das wohl der Beobachtung Marbe's, dass bei intermittirender Netzhaut-Reizung mittelst schwarzer und weisser Sektoren die Verschmelzung der Lichtempfindungen um so leichter zu Stande kommt, je grösser die Differenz zwischen der Breite der weissen und der der schwarzen Sektoren ist. Im Uebrigen zeigen die Zahlen für das Hellgrau und Dunkelgrau eine Abhängigkeit von der Versuchsanordnung in demselben Sinne, wie die Zahlen für das Mittelgrau.

Endlich sei noch erwähnt, dass auch Beobachtungen durch ein kleineres Loch von 1,5 mm Durchmesser zu demselben Resultate führten: Die Zeitwerthe sind absolut grösser als bei Beobachtung durch das grosse Loch von 5 mm Durchmesser, zeigen aber eine gleichsinnige Abhängigkeit von der Versuchsanordnung, wie folgende Beispiele darthun:

Dauer der Einwirkung einer Sektorengruppe (in $\frac{1}{1000}$ sec.) für das Mittelgrau (Beobachter Schenck):

Versuchsanordnung:	Loch von 5 mm Durchmesser:	Loch von 1,5 mm Durchmesser:
$\frac{360^{\circ}}{2}$	21,9	26,8
$\frac{180^{\circ}}{1}$	14,2	18,2
$\frac{180^{\circ}}{2}$	8,5	11,3
$\frac{180^{\circ}}{4}$	5,7	7,5

Auf die Verwerthung der hier beschriebenen Versuchsergebnisse für die Theorie der Netzhauterregung behalten wir uns vor, in einer späteren Mittheilung zurückzukommen.