(Aus dem psychologischen Institut der Universität Würzburg.)

Über die Helligkeit einmaliger und periodisch wiederkehrender Lichtreize.

Von

Henry J. Watt.

Bei den im folgenden mitzuteilenden Experimenten versuchte ich vor allem die Frage zu beantworten, ob ein Reiz und ein lichtleeres Intervall, welche sukzessive und periodisch auf die Netzhaut wirken, im Falle der kritischen Periodendauer ebenso hell erscheinen als derselbe Reiz, wenn er nur einmal erscheint und genau so lange vorhanden ist, wie er im Fall der kritischen Periodendauer wirkt. Diese Frage liess sich mit der in der vorstehenden Arbeit von Marbe beschriebenen Einrichtung für die verschiedensten Verhältnisse der Dauern des Reizes und des lichtleeren Zwischenraumes beantworten. Man musste nur mehrere Scheiben nach dem Typus der Figur verwenden, in welchen das Verhältnis je zweier nebeneinander liegender Sektoren verschieden war, und jede Scheibe in so schnelle Rotation versetzen, dass das Talbot'sche Feld gerade konstant erschien. Die Helligkeit dieses Feldes musste dann mit dem Hess'schen, das nach je 100 Scheibenumdrehungen einmal erhellt wurde, verglichen werden, wobei übrigens lediglich die erste der von dem Hess'schen Felde hervorgerufenen Phasen in Betracht gezogen werden sollte.

Die Feststellung der kritischen Periodendauer für verschiedene Reize hätte sich auch anders ausführen lassen. Man konnte die Reize zunächst in so langen Zwischenräumen auf das Auge wirken lassen, dass sie durch dunkle Intervalle deutlich getrennte Empfindungen erzeugten, und dann unter Beibehaltung der ursprünglichen Dauern der Reize die lichtleeren Zwischenräume verkürzen, bis Flimmern und dann eine konstante Empfindung eintrat. Auch diese Versuche hätten sich mit der Marbe'schen Einrichtung ausführen lassen. Man musste nur unter Beibehaltung derselben Reizdauern eine grosse Anzahl verschiedener Scheiben nach dem Typus der Figur zur Ver-

wendung bringen, indem man die Breite der drei Ausschnitte und die Rotationsgeschwindigkeit in jeder Versuchsreihe in geeigneter Weise wachsen liess. Während hierbei die Reizdauern immer gleich geblieben wären, hätten sich die dunklen Intervalle mehr und mehr vermindert, bis Flimmern und dann eine konstante Empfindung eingetreten wäre.

Bei beiden Methoden handelt es sich um zwei sukzessiv-periodische Reize, von denen die Intensität des einen gleich Null ist. In beiden Fällen werden für dieselben sukzessiv-periodischen Reize die für die kritische Periodendauer zusammengehörigen Werte von t (der Periodendauer), m (dem arithmetischen Mittel der innerhalb der Zeit t wirkenden Elementarreize) und v (der mittleren Variation der innerhalb der Zeit t wirkenden Elementarreize) gesucht¹⁾, bei welchen gerade Verschmelzung eintritt. Dabei bleibt bei der zuerst angegebenen Methode m für jede Scheibe während jeder Versuchsreihe konstant, wogegen es bei der zweiten Methode im Laufe einer Versuchsreihe mehr und mehr vergrössert wird. Die erste Methode wurde nur deshalb gewählt, weil die Einhaltung der gleichen Reizdauern während einer längeren Versuchsreihe, wie sie bei der zweiten Methode nötig wäre, wenngleich möglich, so doch ziemlich beschwerlich ist und eine fortgesetzte Kontrolle erfordert, und weil auch die bei der zweiten Methode notwendige grosse Anzahl von Scheiben gegen diese Methode spricht.

Bei meinen Versuchen habe ich nur fünf Scheiben zur Anwendung gebracht, in welchen das Verhältnis der unter sich gleich grossen Sektoren a , c , e und der unter sich gleich grossen Sektoren b , d , f verschieden abgestuft war. Die folgende Tabelle I gibt die Grössen der benutzten Sektoren für die fünf Scheiben in Winkelgraden an.

Tabelle I.

Scheibe	Ausgeschnittene Sektoren (e , d , f)	Übrige Sektoren (a , c , e)
I	20	100
II	40	80
III	60	60
IV	80	40
V	100	20

1) Über diese Grössen siehe Marbe, Akustische Prüfung der Tatsachen des Talbot'schen Gesetzes. Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 100 S. 551 ff., und die dort zitierten Arbeiten.

Für das einer jeden Scheibe entsprechende Talbot'sche Feld wurde nun mit Hilfe des Tourenzählers und einer Fünftelsekunden-
uhr die kritische Periodendauer bestimmt, wobei die Herren Privat-
dozent Dr. Dürr, Professor Dr. Külpe, Dr. Graf v. Pestalozza
in Würzburg und Herr C. O. Taylor aus Chicago und gelegentlich
auch Herr Dr. Abbott aus Toronto als Versuchspersonen fungierten.

Der Beobachter sass in der für ihn bestimmten Dunkelkammer,
in welcher zunächst ausschliesslich das in einem Kreis von 4 cm
Durchmesser erscheinende Talbot'sche Feld sichtbar wurde, da
das dem Hess'schen Felde entsprechende Fensterchen zunächst
geschlossen blieb. Dabei ergaben sich Resultate, welche mit den
schon früher von Marbe¹⁾ experimentell bewiesenen und neuerdings
auch von anderer²⁾ Seite bestätigten Sätzen in bestem Einklang
stehen. Die Verminderung der Differenz der Reizdauer (diese ist für
die Scheiben I und V am grössten und für die Scheibe III gleich 0)
war für die Verschmelzung ungünstig, wirkte also im Sinne einer
Verkürzung der kritischen Periodendauern, während die Verstärkung
der mittleren Intensität, die von Scheibe I nach Scheibe V zu wächst,
die Verschmelzung begünstigte, also im Sinne einer Verlängerung
der kritischen Periodendauer wirkte. Mit zunehmender mittlerer
Intensität also nahm die kritische Periodendauer zunächst sehr
wenig und dann schnell zu³⁾.

Nachdem nun jeweils eine der Scheiben auf die kritische
Periodendauer eingestellt war, liess ich die Scheibe noch kurze
Zeit rotieren, um unmittelbar nach Einstellung der kritischen
Periodendauer drei Beobachtungen über die scheinbare Helligkeit
des in einem Zwischenraum von je hundert Scheibenumdrehungen
erscheinenden Hess'schen Feldes machen zu lassen. Der Beobachter
fixierte einen Punkt in der Mitte zwischen den zwei 14 cm von-
einander entfernten Feldern. Diese Fixation wurde ihm durch eine
besondere dauernde Beleuchtung beider Felder am Anfang der Ver-
suchsreihe erleichtert. Bei den Experimenten öffnete der Beobachter
die Augen erst bei dem vom Experimentator gegebenen Signal „jetzt“.

1) Marbe, Phil. Studien Bd. 9 S. 397 f. Tatsachen und Theorien des
Talbot'schen Gesetzes. Pflüger's Arch. Bd. 97 S. 372 ff.

2) Siehe Pflüger's Arch. Bd. 97 S. 372 ff.

3) Vgl. Marbe, Tatsachen und Theorien des Talbot'schen Gesetzes.
A. a. O. S. 372.

Nach je drei Beobachtungen wurde die Zwischentür zwischen den Dunkelkammern aufgemacht, so dass sich die Versuchsperson jeweils längere Zeit an das künstliche und das natürliche Licht akkommodieren konnte, welches die Dunkelkammer des Experimentators während der Versuche erleuchtete. Durch die Fixation der Mitte zwischen beiden Feldern erhielt keines eine Bevorzugung durch seine periphere Lage, während eine Veränderung der kritischen Periodendauern infolge der Dunkeladaptation durch die wiederholte Helladaptation verhindert wurde. Ich will hier auch nebenbei bemerken, dass ich es für sehr zweckmässig bei Anwendung solcher Lichtfelder gefunden habe, die Versuchsperson dringend zu ermahnen, dass sie immer dasselbe Kriterium des Flimmerns anwenden soll. Es kann nämlich das deutliche Flimmern verschwunden sein, ohne dass das Lichtfeld ganz still erscheint. Offenbar bringt es eine unerwünschte Unregelmässigkeit der Aussagen hervor, wenn die Versuchsperson bewusst oder unbewusst bald das eine, bald das andere Kriterium anwendet. Nach jeder Neuadaptation an das helle Licht wurde aufs neue auf die kritische Periodendauer eingestellt. Drei solche Reihen von je drei Beobachtungen wurden für jede der fünf Scheiben ausgeführt. Die folgenden Tabellen geben die Resultate dieser Beobachtungen an.

Tabelle II.

Versuchsperson: Dürr.

Grösse der Scheiben- ausschnitte	Kritische Perioden- dauer	Dauer des Hess'schen Feldes	Urteile		
			heller	gleich	dunkler
20°	53	9	0	6	3
40°	54	18	2	6	1
60°	58	29	2	6	1
80°	62	41	3	6	0
100°	75	63	1	6	2

Tabelle III.

Versuchsperson: Külpe.

Grösse der Scheiben- ausschnitte	Kritische Perioden- dauer	Dauer des Hess'schen Feldes	Urteile		
			heller	gleich	dunkler
20°	46	8	0	0	9
40°	47	16	0	2	7
60°	47	23	0	1	8
80°	49	32	0	0	9
100°	60	50	0	0	9

Tabelle IV.

Versuchsperson: Pestalozza.

Grösse der Scheiben-ausschnitte	Kritische Perioden-dauer	Dauer des Hess'schen Feldes	Urteile		
			heller	gleich	dunkler
20°	40	7	7	0	2
40°	40	13	9	0	0
60°	43	21	7	0	2
80°	45	30	9	0	0
100°	53	44	8	0	1

Tabelle V.

Versuchsperson: Taylor.

Grösse der Scheiben-ausschnitte	Kritische Perioden-dauer	Dauer des Hess'schen Feldes	Urteile		
			heller	gleich	dunkler
20°	35	6	0	0	9
40°	37	12	0	0	9
60°	39	19	0	4	5
80°	42	28	0	1	8
100°	48	40	0	0	9

In der ersten Kolumne dieser Tabellen steht die Grösse der drei Ausschnitte der Scheiben in Graden, daneben die kritische Periodendauer in Sigmen und in der dritten Kolumne die Dauer des Hess'schen Feldes, ebenfalls in Sigmen. Die letzten drei Kolumnen enthalten die Anzahlen der auf das Hess'sche Feld sich beziehenden Urteile (heller, gleich oder dunkler), wobei immer die Gesamtzahl der Beobachtungen 9 betrug.

Es ergibt sich aus diesen Tabellen, dass in den meisten Fällen das Hess'sche Feld den zwei Versuchspersonen Külpe und Taylor dunkler, einer Versuchsperson Pestalozza heller, der vierten Versuchsperson Dürr gleich hell erscheint wie das dauernde konstante Talbot'sche Feld. Auch der Versuchsperson Abbott erschien das Hess'sche Feld immer heller. Die Beobachtungen sind nach den Angaben der Versuchspersonen sehr schwierig, aber alle haben den Eindruck gewonnen, dass das von ihnen überwiegend oft abgegebene Urteil das zutreffende sei.

Allen Versuchspersonen schien das Talbot'sche Feld etwas rötlicher zu sein als das Hess'sche. Hiermit hängt es zusammen, dass die Herren Dürr und Pestalozza von selbst zu Protokoll

gaben, dass sie sich trotz der von ihnen abgegebenen und in den Tabellen mitgeteilten Urteile bisweilen versucht fühlten, das Hess'sche Feld für heller anzusehen als das Talbot'sche. Auch erschien das Hess'sche Feld vielfach nicht scharf abgegrenzt. Ich habe mich aber davon überzeugt, dass das Hess'sche Feld objektiv scharf konturiert war, indem ich bei mehrmaliger Beobachtung sukzessive verschiedene Teile des Feldes scharf fixierte. Wegen der Flüchtigkeit des Hess'schen Feldes ist das Urteil über dasselbe gegenüber dem Urteil über das Talbot'sche Feld unsicher.

Es ist interessant, dass die kritische Periodendauer für alle Versuchspersonen verschieden war, wie die folgende Tabelle VI zeigt. In derselben stehen unter den Zahlen für die Grösse der drei Sektorenausschnitte jeder Scheibe die Grössen der kritischen Periodendauer in Sigen für die einzelnen Versuchspersonen.

Tabelle VI.

	20°	40°	60°	80°	100°
Taylor	35	37	39	42	48
Pestalozza	40	40	43	45	53
Külpe	46	47	47	49	60
Dürr	53	54	58	62	75

Offenbar ist infolgedessen die aus der kritischen Periodendauer zu berechnende Dauer des Hess'schen Feldes bei allen Versuchspersonen verschieden, wie die folgende Tabelle VII zeigt.

Tabelle VII.

	20°	40°	60°	80°	100°	Urteil
Taylor	6	12	19	28	40	dunkler
Pestalozza	7	13	21	30	44	heller
Külpe	8	16	23	32	50	dunkler
Dürr	9	18	29	41	63	gleich

In dieser Tabelle VII steht unter den Zahlen für die Grösse der Ausschnitte die Dauer des Hess'schen Feldes für jede Versuchsperson. In der letzten Kolumne unter dem Wort „Urteil“ steht das überwiegend oft abgegebene Urteil der Versuchsperson.

Da nun die Helligkeit eines einmaligen Eindrucks mit seiner Dauer zunimmt, so darf man vermuten, dass auch die über das Hess'sche Feld abgegebenen Urteile von der Dauer des Eindrucks abhängig sind, während die scheinbare Helligkeit des Talbot'schen Feldes von der Dauer der Reize unabhängig ist, wofern nur die kritische Periodendauer erreicht ist. Damit würde die obige Tabelle VII auch stimmen, wenn nur die Versuchsperson Pestalozza das Urteil „dunkler“ abgegeben oder längere kritische Periodendauern nötig gehabt hätte. Zur Erklärung dieses Widerspruchs könnte man vielleicht die Aussage dieser Versuchsperson in Anspruch nehmen, dass ihr das Hess'sche Feld immer weisslich und das Talbot'sche Feld rötlich erschien, und man könnte annehmen, dass dies der Grund sei, dass ihr das Hess'sche Feld meistens heller erschien. Dagegen ist zu erwähnen, dass Herr Graf Pestalozza seines Urteils ziemlich sicher wurde, und dass ja auch die anderen Versuchspersonen angaben, dass das Talbot'sche Feld rötlicher erscheine.

Dass die bei den verschiedenen Beobachtern verschiedene Dauer des Hess'schen Feldes, trotz der Beobachtungen von Graf Pestalozza, das Urteil der Beobachter beeinflussen muss, zeigt die folgende Überlegung. Wenn die Rotationsgeschwindigkeit der Scheibe mehr und mehr erhöht wird, so wird die Dauer des Hess'schen Feldes immer kürzer, während sich die Intensität des Talbot'schen Feldes natürlich gleich bleibt, wenn die kritische Periodendauer einmal erreicht ist. Dabei geschieht es, dass schliesslich immer und mit grosser Sicherheit von allen Versuchspersonen das Urteil „dunkler“ in bezug auf das Hess'sche Feld gefällt werden muss. Die Richtigkeit dieser einleuchtenden Überlegung habe ich bestätigt durch Versuche mit den Herren Külpe, Dürr und Taylor.

Dass sich die in Tabelle VII mitgeteilten Urteile (wegen derjenigen des Beobachters Pestalozza) nicht aus dem Prinzip, dass die Dauer des Hess'schen Feldes die Empfindungsintensität beeinflusst, erklären lassen, ist nicht verwunderlich. Man werfe nochmals einen Blick auf Tabelle VI! Wie grosse Verschiedenheiten zeigen die einzelnen Beobachter hinsichtlich der absoluten Werte ihrer kritischen Periodendauern! Warum sollen nun aber bei diesen Beobachtern die Kurven des Anklingens der Empfindungen identisch verlaufen, oder warum sollen sie genau in dem Verhältnis zueinander verschoben sein wie die diesen Beobachtern entsprechenden absoluten

Werte der kritischen Periodendauern, da die letzteren doch offenbar Funktionen einer Menge von Momenten, wie Sehschärfe, Unterschiedsempfindlichkeit und zentralen Faktoren, sind, die für die Beurteilung der Helligkeit des Hess'schen Feldes nicht oder doch wohl kaum in gleicher Weise wie für die Beurteilung der kritischen Periodendauer in Betracht kommen. Es ist daher schlechterdings nicht einzusehen, weshalb die scheinbare Helligkeit des Hess'schen Feldes und die des Talbot'schen Feldes zusammenfallen sollen, und die Resultate unserer Versuche sind daher durchaus verständlich.

Martius hat die Ansicht aufgestellt¹⁾, dass ein einmaliger Reiz ebenso hell erscheint wie derselbe Reiz, wenn er sukzessive und periodisch auftritt und durch absolut lichtleere Zwischenräume jeweils plötzlich so lange unterbrochen wird, dass gerade eine konstante Empfindung entsteht. Unsere Versuche und unsere theoretischen Bemerkungen zeigen in gleicher Weise, dass die Martius'sche Ansicht keineswegs notwendig zutreffen muss, obgleich sie gewiss gelegentlich zutreffen kann, wie denn auch unser Beobachter Dürr vorzugsweise Gleichheitsurteile abgab. Dass Martius dazu kam, die erwähnte Ansicht als eine allgemeine Tatsache zu betrachten, dürfte wohl darin seine Erklärung finden, dass er bei seinen Versuchen ausschliesslich selbst Beobachter war. Sollte er weitere Versuchspersonen heranziehen, würde auch er gewiss zu ähnlichen Resultaten gelangen wie wir.

1) Pflüger's Archiv Bd. 99 S. 95 ff. 1904.