

Ueber die stroboskopischen Erscheinungen.

Experimentelle Untersuchungen aus dem psychologischen Institut
der Universität Würzburg.

Von

Ernst Dürr.

Mit 1 Figur im Text.

Die stroboskopischen Erscheinungen kommen dadurch zu Stande, dass dem Auge successive einzelne Phasen eines ruhenden oder bewegten Gegenstandes dargeboten werden, welche subjectiv zu einem Gesamtbild des Gegenstandes verschmelzen¹⁾.

Weil die stroboskopischen Erscheinungen durch intermittirende Netzhautreizung hervorgerufen werden, so müssen auch die Gesetze, die für intermittirende Netzhautreizung bekannt sind, auf sie Anwendung finden²⁾. Diese Gesetze besagen, dass successiv und periodisch wirkende Gesichtsrize unter Umständen eine constante Empfindung erzeugen können, und dass die einzelnen Momente, die das Entstehen einer solchen begünstigen, in der Verkürzung der Reizdauern, der Vergrößerung des Unterschiedes der Reizdauern, der Verminderung des Unterschiedes der Reizintensitäten und in der Erhöhung der mittleren Stärke der Reize bestehen. Die resultirende constante Empfindung ist dabei identisch mit derjenigen, die erzeugt würde, wenn das dem Auge während einer Periode

1) Eine Uebersicht über die Geschichte der Lehre von den stroboskopischen Erscheinungen und eine Theorie derselben findet sich bei Marbe, Die stroboskopischen Erscheinungen, Philos. Studien, Bd. XIV, S. 376 ff.

2) Vergl. Marbe, a. a. O. S. 396.

dargebotene Licht gleichmäßig auf die Dauer der ganzen Periode vertheilt wäre¹⁾).

Dies sind in Kurzem die wesentlichsten bisher gewonnenen Ergebnisse der Versuche über intermittirende Netzhautreizung. Im Verlauf von Versuchen nun, die Herr Dr. Marbe und ich auf dem psychologischen Institut der Universität Würzburg anstellten, machten wir eine Beobachtung, die uns eine Erweiterung des bisher über intermittirende Netzhautreizung Bekannten zu bedeuten schien. Wir fanden nämlich, dass von zwei in je sechs gleich große Sektoren eingetheilten rotirenden Scheiben mit gleich großer mittlerer Intensität die eine eher verschmolz als die andere, wenn bei jener die einzelnen Sektoren abwechselnd schwarz und weiß, und wenn sie bei dieser abwechselnd schwarz, grau und weiß waren.

Von den oben angeführten, die Verschmelzung beeinflussenden Momenten waren bei diesem Versuch bei beiden Scheiben drei identisch. Die mittlere Intensität war, wie bereits erwähnt, bei beiden Scheiben gleich, die Dauer der einzelnen Reize war, da die sechs Sektoren beider Scheiben gleich groß waren, dieselbe, und die Differenz der Reizdauern war daher bei beiden Scheiben gleich Null. Das vierte Moment, die Differenz der Reizintensitäten, war verschieden, indem diese Differenz natürlich größer war auf der Scheibe mit abwechselnd schwarzen und weißen, als auf derjenigen mit schwarzen, grauen und weißen Sektoren. Aber deshalb hätte gerade das Gegentheil des beobachteten Thatbestandes der Fall sein, die Verschmelzung hätte zuerst auf der Scheibe mit den schwarz-grau-weißen Sektoren eintreten müssen; denn Vergrößerung der Differenz der Reizintensitäten wirkt ungünstig für die Verschmelzung. Außer der Differenz der Reizintensitäten war aber auf beiden Scheiben nur noch die Zahl der von einander verschiedenen intermittirend dem Auge dargebotenen Reize verschieden. Demnach scheint aus unserer Beobachtung der Satz zu folgen, dass die Zahl der von einander verschiedenen Reize bei successiv-periodischer Netzhautreizung einen Einfluss auf das Zustandekommen einer constanten Empfindung ausübt, so zwar, dass Vermehrung dieser Anzahl ungünstig wirkt.

1) Vergl. Marbe, Theorie des Talbot'schen Gesetzes, Philos. Studien, Bd. XII, S. 279 f.

Dieser Satz steht denn auch in bestem Einklang mit unseren theoretischen Anschauungen von den Gesetzmäßigkeiten intermittirender Netzhautreizung; er lässt sich direct aus der Theorie Marbe's deduciren. Nach dieser Theorie des Talbot'schen Gesetzes nämlich ist von ausschlaggebender Bedeutung für das Zustandekommen einer constanten Empfindung bei intermittirender Netzhautreizung die Aehnlichkeit der einzelnen charakteristischen Effectengruppen¹⁾. Es lässt

1) S. Marbe, Theorie des Talbot'schen Gesetzes, S. 283 ff. Ausführlicher erläutert findet sich dasselbe bei Marbe: Die stroboskopischen Erscheinungen, Philos. Studien, Bd. XIV, S. 386 ff. Gegen diese Darlegungen Marbe's hat Witasek in der Zeitschrift für Psych. und Physiol. der Sinnesorgane (Bd. XX, S. 199 f.) mehrere Einwände erhoben.

Zunächst behauptet er, die Voraussetzung der Marbe'schen Theorie, dass die Lichtempfindung jedes Zeitelementes eine Function des zugehörigen und der direct vorhergehenden Elementareffecte ist, sei nichts anderes als ein neuer Ausdruck eines Theiles des Talbot'schen Gesetzes. Dieser Einwand stützt sich jedoch nur auf die Ausdrucksweise Marbe's in der »Theorie des Talbot'schen Gesetzes« S. 284, wonach allerdings der Anschein erweckt werden könnte, als sollte die fragliche Voraussetzung der Theorie des Talbot'schen Gesetzes erst durch die Richtigkeit eben dieses Gesetzes bewiesen werden. Thatsächlich aber ist die von Marbe vorausgesetzte Abhängigkeit der Empfindung von einer Reihe vorhergehender Elementareffecte doch eine Thatsache, die für sich experimentell bereits durch Exner sichergestellt ist. Und diese Versuche Exner's über den Verlauf der Netzhauterregung citirt Marbe selbst in der Darlegung seiner Theorie (S. 285). Weiterhin behauptet Witasek, Marbe messe den Aehnlichkeitsgrad der charakteristischen Effectengruppen nicht an ihrem Aussehen, sondern an der mittleren Variation der Elementareffecte. Das ist nicht richtig. Marbe behauptet, dass die mittlere Variation der Elementareffecte (und die Größe der Zeiten, innerhalb deren gleich viel Licht ins Auge fällt) die Aehnlichkeit der charakteristischen Effectengruppen beeinflusse. Aber er misst diese Aehnlichkeit an dem Aussehen und an der Größe der Effectengruppen. Er zeigt nämlich, dass bei Verkürzung der Dauer der intermittirend dargebotenen Reize und bei Vergrößerung des Unterschiedes der Reizdauern je zwanzig auf einander folgende charakteristische Effectengruppen mehr vollständig identische Effectengruppen enthalten als bei größerer Dauer der Reize und geringerem Unterschied der Reizdauern, und dass bei Verkürzung der Dauer der intermittirend dargebotenen Reize, bei Vergrößerung des Unterschiedes der Reizdauern und bei Verminderung des Unterschiedes der Reizintensitäten die arithmetischen Mittel der charakteristischen Effectengruppen eine geringere Variation aufweisen, als wenn diese für die Verschmelzung günstigen Momente nicht in Betracht kommen. Damit erledigt sich auch der zweite Einwand Witasek's gegen Marbe's Theorie, dass es nämlich kein bestimmtes Maß der Aehnlichkeit der charakteristischen Effectengruppen gebe. Dieser Einwand käme dann in Betracht, wenn der Versuch Marbe's, die größere Aehnlichkeit der charakteristischen Effectengruppen im

sich nun leicht zeigen, dass die charakteristischen Effectengruppen unter sich um so unähnlicher sind, je mehr verschiedene Reize auf das Auge intermittierend wirken. Nehmen wir z. B. an, dass bei Rotation der Scheibe mit den schwarzen und weißen Sektoren folgende Elementareffecte dem Auge geboten werden:

1 1 1 1 1 9 9 9 9 9 1 1 1 1 1 9 9 9 9 9 1 1 1 1 1 9 9 9 9 9 u. s. w.

und dass bei Rotation der Scheibe mit den schwarzen, grauen und weißen Sektoren die Elementareffecte folgende sind:

1 1 1 1 1 5 5 5 5 5 9 9 9 9 9 1 1 1 1 1 5 5 5 5 5 9 9 9 9 9 u. s. w.

und nehmen wir ferner an, dass eine charakteristische Effectengruppe aus neun Elementareffecten besteht, so haben wir nach einander folgende charakteristische Effectengruppen:

1) Schwarz-weiße Scheibe.

1 1 1 1 1 9 9 9 9

1 1 1 1 9 9 9 9

1 1 1 9 9 9 9 1

1 1 9 9 9 9 1 1

1 9 9 9 9 1 1 1

9 9 9 9 1 1 1 1

9 9 9 1 1 1 1 1

9 9 9 1 1 1 1 9

9 9 1 1 1 1 1 9

9 1 1 1 1 1 9 9

1 1 1 1 1 9 9 9

1 1 1 1 9 9 9 9

1 1 1 9 9 9 9 1

1 1 9 9 9 9 1 1

1 9 9 9 9 1 1 1

9 9 9 9 1 1 1 1

u. s. w.

2) Schwarz-grau-weiße Scheibe.

1 1 1 1 1 5 5 5 5

1 1 1 1 5 5 5 5

1 1 1 5 5 5 5 9

1 1 5 5 5 5 9 9

1 5 5 5 5 9 9 9

5 5 5 5 9 9 9 9

5 5 5 9 9 9 9 9

5 5 9 9 9 9 9 1

5 9 9 9 9 9 1 1

5 9 9 9 9 1 1 1

9 9 9 9 1 1 1 1

9 9 9 1 1 1 1 5

9 9 1 1 1 1 5 5

9 1 1 1 1 5 5 5

1 1 1 1 5 5 5 5

u. s. w.

einen Falle gegenüber der geringeren Aehnlichkeit in einem anderen Falle nachzuweisen, daran gescheitert wäre, dass im einen Falle die charakteristischen Effectengruppen eine geringere Variation des arithmetischen Mittels und eine größere Verschiedenheit der Anordnung der Elementareffecte, im anderen Falle eine größere Variation des arithmetischen Mittels und eine geringere Verschiedenheit in der Anordnung der Elementareffecte aufgewiesen hätten. Dies ist aber nicht der Fall. Folglich ist dieser Einwand Witasek's belanglos.

Die arithmetischen Mittel der einzelnen Gruppen der linken Columne sind:

$$\frac{41}{9}; \frac{49}{9}; \frac{49}{9}; \frac{49}{9}; \frac{49}{9}; \frac{49}{9}; \frac{41}{9}; \frac{41}{9}; \frac{41}{9}; \frac{41}{9}; \frac{49}{9}; \frac{49}{9}; \frac{49}{9}; \frac{49}{9}; \frac{49}{9}.$$

Die arithmetischen Mittel der einzelnen Gruppen der rechten Columne sind:

$$\frac{25}{9}; \frac{29}{9}; \frac{37}{9}; \frac{45}{9}; \frac{53}{9}; \frac{61}{9}; \frac{65}{9}; \frac{61}{9}; \frac{57}{9}; \frac{53}{9}; \frac{49}{9}; \frac{41}{9}; \frac{37}{9}; \frac{33}{9}; \frac{29}{9}; \frac{25}{9}.$$

Aus den angeführten charakteristischen Effectengruppen und deren arithmetischen Mitteln ersieht man, dass bei Benützung der schwarz-weißen Scheibe auf sechzehn charakteristische Effectengruppen sechs gleiche treffen, während bei Benützung der schwarz-grau-weißen Scheibe unter sechzehn charakteristischen Effectengruppen sich nur zwei identische finden, und dass ferner die mittlere Variation des arithmetischen Mittels der Effectengruppen im ersteren Fall viel geringer ist als im letzteren. Das heißt aber nichts anderes, als dass bei Rotation der schwarz-weißen Scheibe die charakteristischen Effectengruppen einander ähnlicher sind als bei Rotation der schwarz-grau-weißen Scheibe.

Der Satz, der sich somit aus Marbe's Theorie des Talbot'schen Gesetzes direct ableiten lässt, dass Vermehrung der Zahl der von einander verschiedenen Reize bei successiv-periodischer Gesichtszreizung für die Verschmelzung ungünstig ist, wird übrigens auch gestützt durch eine Beobachtung, die Schenck¹⁾ in seiner letzten Arbeit über intermittirende Netzhautreizung veröffentlicht hat. Schenck formulirt diese Beobachtung S. 54 folgendermaßen: Eine mit

Aus dem bisher Gesagten ergibt sich aber auch die Hinfälligkeit des letzten Einwandes von Witasek. Wenn dieser nämlich behauptet, das Aehnlichkeitsmaß, das Marbe an die charakteristischen Effectengruppen anlege, sei eine Voraussetzung des Talbot'schen Gesetzes, so könnte diese Ansicht sich nur darauf gründen, dass unter verschiedenen Aehnlichkeitsmaßen dasjenige von Marbe gewählt worden sei, was am besten mit den Thatsachen des Talbot'schen Gesetzes in Einklang zu bringen ist. Das ist aber nicht richtig. Marbe beurtheilt die Aehnlichkeit der charakteristischen Effectengruppen nach den Gesichtspunkten, nach denen man Aehnlichkeit überhaupt beurtheilt, nach Größe und Anordnung der Theile. Inwiefern damit das Talbot'sche Gesetz vorausgesetzt sein soll, ist nicht einzusehen.

1) Schenck, Ueber intermittirende Netzhautreizung, 3.—7. Mittheilung. Pflüger's Archiv für die ges. Physiol. Bd. 68, S. 32 ff.

schwarzen und weißen Sektoren erfüllte Kreiselscheibe hat eine geringere Umdrehungsgeschwindigkeit nöthig, um gleichmäßig auszu- sehen, als eine nur zur Hälfte von Sektoren bedeckte, zur anderen Hälfte mit gleichmäßigem, dem Sektorengemisch gleich hellem Grau erfüllte Scheibe. Auch bei dieser Beobachtung handelt es sich um drei verschiedene, intermittirend dargebotene Reize, die schwerer verschmelzen als zwei abwechselnd auf das Auge wirkende. Von dieser seiner Beobachtung behauptet Schenck freilich, dass sie in Widerspruch mit unseren theoretischen Anschauungen über intermittirende Netzhautreizung stehe, eine Ansicht, die ich indessen durch obige Ausführungen widerlegt zu haben glaube.

Die bisher aufgeführten Sätze über intermittirende Netzhautreizung wurden größtentheils durch Versuche gefunden, die mit rotirenden, in verschiedene Sektoren eingetheilten Scheiben angestellt wurden. Sie müssen, wie bereits hervorgehoben, auch für die stroboskopischen Erscheinungen gelten. Aber die principielle Gleichartigkeit der Netzhautvorgänge bei Betrachtung einer rotirenden Scheibe mit verschieden hellen Sektoren und bei Beobachtung stroboskopischer Erscheinungen dürfte doch nicht so ganz augenfällig sein. Denn dort ist das Endresultat dieser Vorgänge der Untergang sämtlicher Reizunterschiede in einer gleichartigen Gesamttempfindung, hier ergeben sich Bilder, in denen verschiedene Farben und Helligkeiten neben einander vorhanden sind. Deshalb darf hier wohl betont werden, dass dieses verschiedene Ergebniss nicht auf dem Hereinspielen anderer als der oben aufgeführten Factoren, sondern nur auf einem verschiedenen Zusammenwirken eben dieser beruht. In dem Auge nämlich, das stroboskopische Erscheinungen sieht, gleicht sich nicht die verschiedene Reizung der einzelnen Netzhautbezirke im einen Zeittheil durch die jeweils entgegengesetzte im nächsten Zeittheil vollständig aus. Es bleibt vielmehr die Gesamtreizung der verschiedenen Netzhautbezirke eine verschiedene. Jede einzelne Farbe und Helligkeit des stroboskopischen Gesamtbildes aber lässt sich vollkommen aus den oben erwähnten Gesetzmäßigkeiten der intermittirenden Netzhautreizung erklären.

Diese schon von Marbe dargelegte Ansicht bestätigten uns einige neue Versuche. Wir ließen eine Pappscheibe von etwa 30 cm Durchmesser, die auf der einen Seite mit schwarzem, auf

der andern mit weißem Papier überzogen war, vor einem Spiegel rotiren. Aus dieser Scheibe waren in gleichen Abständen sechs radial verlaufende Spalten von 8 mm Breite und etwa 7 cm Länge ausgeschnitten. Auf der dem Spiegel zugewendeten (weißen) Seite konnten auf einem Kreise unter den einzelnen Spalten sechs Kreisscheibchen von etwa $2\frac{1}{2}$ cm Durchmesser angebracht werden. Wir wählten nun diese Scheibchen für einen Versuch aus schwarzem, für einen zweiten aus grauem Papier. Bei einem dritten Versuch brachten wir unter dem einen Spalt ein schwarzes, unter dem nächsten ein graues, unter dem dritten wieder ein schwarzes Scheibchen an u. s. w. Ein viertes Mal waren die Scheibchen, die wir benützten, abwechselnd schwarz und weiß, und endlich auch abwechselnd grau und weiß. Diese Scheibchen betrachteten wir durch die Spalten der großen Scheibe im Spiegel. Sie erschienen bei geringer Rotationsgeschwindigkeit intermittirend, bei etwas schnellerer Drehung waren sie immer sichtbar, jedoch nicht von constanter Helligkeit, bis endlich bei weiterer Steigerung der Geschwindigkeit auch das Flimmern auf ihnen verschwand. Die Helligkeit, in der sie nunmehr erschienen, war bestimmt durch ihre eigene Intensität und durch das Schwarz der Spaltscheibe. Die Intensitätsdifferenz zwischen diesen beiden Constituenten war natürlich am geringsten bei den schwarzen Scheibchen, größer bei den grauen, und dem entsprechend verschwand das Flimmern bei jenen eher als bei diesen. Bei Benutzung der abwechselnd schwarzen und grauen, schwarzen und weißen und grauen und weißen Scheibchen war die Anzahl der intermittirend dargebotenen Reize eine größere als bei den beiden vorher erwähnten Anordnungen, und so trat denn ganz entsprechend dem auf S. 503 ff. aufgestellten Satz die Verschmelzung hier etwas später ein als bei den zuerst beschriebenen Versuchen. Die Differenz der Reizintensitäten war unter den letzten drei Anordnungen am geringsten bei dem Versuch mit den schwarzen und grauen Scheibchen, und so trat denn auch hier wieder die Verschmelzung eher ein als bei den beiden übrigen. Was diese anbelangt, so war die Differenz der Reizintensitäten bei Benützung der grauen und weißen Scheibchen wohl etwas größer als bei Anwendung der schwarzen und weißen. Doch bewirkte hierbei wohl die offenbar größere mittlere Intensität bei den grauen und weißen Scheibchen, dass sie eher verschmolzen

als die schwarzen und weißen. Die Zahlen, die unsere fünf Versuchsreihen uns lieferten, gibt folgende Tabelle I wieder. Die erste Columne enthält die Zahlen für die Dauer einer Umdrehung der Spaltscheibe, bei welcher die Kreisscheibchen eine constante Helligkeit aufwiesen. Diese Dauer wurde mittelst einer Fünftelsecundenuhr bestimmt. Jede hier aufgeführte Zahl ist aus vier Beobachtungen gewonnen. Die zweite Columne gibt die Beschaffenheit der benutzten Kreisscheibchen an, und die dritte enthält die mittlere Variation der einzelnen Beobachtungen.

Tabelle I.

Beobachter: Dr. Marbe.

Dauer einer Umdrehung	Scheibchen	Mittlere Variation
0,470 Secunden	schwarz	0,010
0,400 >	grau	0,000
0,091 >	schwarz-grau	0,003
0,087 >	grau-weiß	0,004
0,078 >	schwarz-weiß	0,004

Bei Gelegenheit dieser Experimente machten wir eine auffallende Beobachtung. Bevor nämlich die abwechselnd schwarzen und weißen Scheibchen in einem constanten (ziemlich hellen) Grau erschienen, zeigten sich einige Augenblicke lang sechs etwas flimmernde ganz dunkle Scheibchen, die sich bei weiterer Zunahme der Geschwindigkeit der Spaltscheibe plötzlich aufhellten.

Diese Thatsache stellten wir zusammen mit der von Brücke¹⁾ mitgetheilten Beobachtung, dass bei intermittirender Netzhautreizung die größte erreichbare Helligkeit wahrgenommen wird, bevor die Empfindung völlig constant geworden ist. Die Allgemeingültigkeit dieses Brücke'schen Befundes schien durch unsere Beobachtung in Frage gestellt zu sein. Nun kehrten wir unsere oben mitgetheilte Versuchsanordnung in der Weise um, dass wir durch die sechs Spalten

1) Moleschott, Untersuchungen zur Naturlehre, Bd. IX, S. 367 ff.

der Spaltscheibe drei weiße Kreisscheibchen auf schwarzem Grund betrachteten. Dabei fanden wir vollständig entsprechend der Brückeschen Beobachtung, dass die Scheibchen vor der völligen Verschmelzung heller erschienen als nach derselben. Daraus schlossen wir nun, dass die von Brücke mitgetheilten Thatfachen nur einen Theil einer umfassenderen Gesetzmäßigkeit zum Ausdruck bringen. Diese ließe sich vielleicht dahin formuliren, dass unter gewissen Umständen von intermittirend gesehene nicht vollständig verschmelzende Reize derjenige, der seiner Natur nach geeignet ist, die Aufmerksamkeit stärker auf sich zu lenken, die Tendenz hat, die scheinbare Helligkeit des Gesamtbildes hervorragend zu beeinflussen. Freilich reichen unsere gegenwärtigen psycho-physiologischen Kenntnisse nicht aus, eine umfassendere theoretische Begründung der fraglichen Thatfachen zu geben.

Gesondert von den bisher behandelten stroboskopischen Erscheinungen, durch welche uns ruhende Objecte vorgeführt werden, sind diejenigen zu behandeln, die Bewegungen zum Ausdruck bringen. Denn einerseits ist es natürlich unmöglich, alle die unendlich vielen Phasen eines bewegten Gegenstandes durch das Stroboskop dem Auge von einander getrennt darzubieten, andererseits setzt sich der stroboskopische Eindruck einer Bewegung aus einzeln dargebotenen Phasen zusammen. Daraus ergibt sich für diese Gruppe von stroboskopischen Erscheinungen ohne weiteres ein eigenes Problem. Es fragt sich nämlich, wie viel Phasen ausfallen dürfen, ohne dass der Bewegungseindruck gestört wird, und warum dieser Phasenausfall nicht bemerkt wird.

Auf dieses Problem hat Grützner¹⁾ hingewiesen, wenn er berichtet, dass er die stroboskopische Erscheinung bockspringender Knaben nach Verdeckung mehrerer Phasen auf der Bildscheibe noch gerade so gut beobachtet habe als ohne diese Modification. Im Anschluss an diese Angabe hat dann Marbe²⁾ einige Versuche veröffentlicht, die mit dem Anschütz'schen Schnellseher und den Bildern des über eine Hürde setzenden Reiters (Streifen 3 der An-

1) P. Grützner, Versuche mit der Wunderscheibe. Pflüger's Archiv, Bd. LV, S. 508.

2) Marbe, Die stroboskopischen Erscheinungen, S. 385 f., 398 ff.

schütz'schen Collection) angestellt wurden. Marbe gelangte durch diese Versuche zu der Ansicht, »dass eine Reihe von Bewegungsphasen unter Umständen ohne Nachtheil ausfallen kann, dass aber der Ausfall der Bewegungsphasen bei genügender Aufmerksamkeit und geeigneter Richtung derselben bewusst werden kann«, und dass in Folge dessen der Ausfall der Bewegungsphasen bei den stroboskopischen Erscheinungen jedenfalls in Folge rein centraler Ursachen unbemerkt bleibt.

Es galt nun vor allem genauer zu untersuchen, wieviel Phasen ausfallen dürfen, ohne dass eine Unterbrechung bemerkt wird, beziehungsweise welche Zeit- und Raumgröße zwei auf einander folgende Phasen trennen darf, ohne dass sie den Eindruck einer continuirlichen Bewegung stört¹⁾. Wir benützten zu diesen Bestimmungen Streifen 7 der Anschütz'schen Collection, auf dem die einzelnen Phasen bockspringender Turner dargestellt sind. Der Schnellseher wurde durch einen Elektromotor in Bewegung versetzt, die Dauer von zehn Umdrehungen mittelst einer Fünftelsecundenuhr bestimmt. Wir verdeckten nun zunächst unter Beibehaltung einer gewissen Geschwindigkeit durch weiße, mittelst Haften befestigte Papierstreifen eine Phase nach der anderen und sahen zu, wieviel Phasen auf diese Weise verdeckt werden durften, ohne dass dadurch der Bewegungseindruck gestört wurde. Darnach kehrten wir die Versuchsanordnung in der Weise um, dass wir für eine bestimmte Anzahl verdeckter Phasen die Geschwindigkeit suchten, bei der die Unterbrechung gerade wahrgenommen wurde. Die zu verdeckenden Phasen wählten wir einmal aus den mittleren, einmal aus den ersten und einmal aus den letzten Partien der Bewegung, d. h. einmal aus dem Theil, wo der eine Turner gerade über dem andern schwebt, einmal aus jenem, wo er den Anlauf nimmt, und einmal aus jenem, wo er abspringt.

Die Resultate unserer Versuche sind in den folgenden Tabellen niedergelegt. Die ersten Columnen derselben enthalten die Dauer einer Umdrehung des Schnellsehers, bei der eine Lücke gerade bemerkt wurde, in Secunden ausgedrückt. In den zweiten Columnen ist die Anzahl der Phasen angegeben, die in dem betreffenden Fall

1) Bei dieser Untersuchung unterstützte mich in liebenswürdigster Weise Herr Prof. Külpe.

verdeckt waren. Die dritten Columnen geben die Lage der verdeckten Phasen auf dem Bildstreifen an und zwar auf Grund einer Nummerierung sämtlicher Phasen von Beginn des Anlaufs an mit eins bis vierundzwanzig. In den vierten Columnen ist die Zeit in Secunden berechnet, während welcher dem Auge keine Phase dargeboten war, wenn es eben eine Lücke bemerkte. Ich nenne diese Zeit die kritische Dauer der Unterbrechung. Die fünften Columnen endlich geben, allerdings nur ganz annähernd, die Raumgröße des verdeckten Theiles der Bewegung an.

Tabelle II.

Beobachter: Prof. Külpe.

Dauer einer Umdrehung	Zahl der verdeckten Phasen	Nummern der verdeckten Phasen	Krit. Dauer der Unterbrechung	Raumgröße des verdeckten Theiles der Bewegung
1,8 Sec.	2	15—16	0,15 Sec.	2 mm
1,8 »	3	14—16	0,225 »	4 »
1,5 »	4	14—17	0,25 »	7 »
1,3 »	5	13—17	0,25 »	9 »
1,0 »	6	13—18	0,24 »	11 »
0,8 »	7	12—18	0,24 »	13 »
1,7 »	3	3—5	0,21 »	8 »
1,2 »	4	3—6	0,20 »	15 »
1,0 »	5	3—7	0,20 »	18 »
1,5 »	3	20—22	0,19 »	4 »
1,2 »	4	19—22	0,20 »	6 »
0,9 »	5	18—22	0,19 »	8 »

Tabelle III.

Beobachter: Verfasser.

Dauer einer Umdrehung	Zahl der verdeckten Phasen	Nummern der verdeckten Phasen	Krit. Dauer der Unterbrechung	Raumgröße des verdeckten Theiles der Bewegung
2,4 Sec.	4	14—17	0,40 Sec.	7 mm
1,7 >	5	13—17	0,35 >	9 >
1,0 >	6	13—18	0,24 >	11 >
0,9 >	7	12—18	0,26 >	13 >
1,6 >	3	3—5	0,20 >	8 >
1,4 >	4	3—6	0,23 >	15 >
1,1 >	5	3—7	0,23 >	18 >
1,5 >	3	20—22	0,19 >	4 >
1,2 >	4	19—22	0,20 >	6 >
1,0 >	5	18—22	0,20 >	8 >

Unsere Tabellen zeigen zunächst, dass die Raumgröße des ausgefallenen Bewegungsabschnitts (Columnen 5) eine ganz beträchtliche sein kann, wenn die Unterbrechung eben bemerkt wird. Daraus ergibt sich der Satz, dass ein ziemlich großer Abschnitt einer stroboskopischen Bewegung ausfallen kann, ohne dass die Unterbrechung bemerkt wird, wenn nur die Dauer der Unterbrechung eine hinreichend kurze ist.

Die Tabellen zeigen ferner, dass die für die kritische Dauer der Unterbrechung angeführten Zahlen (Columnen 4) in keiner erkennbaren Abhängigkeitsbeziehung zu der Größe des ausgefallenen Bewegungsabschnittes stehen. Hiernach scheint die Raumgröße des verdeckten Theiles der Bewegung, abgesehen von ihrem Einfluss auf die Dauer der Unterbrechung, keine Bedeutung für die Bemerkbarkeit der Lücke zu haben. Diesen Satz kann man auch so formulieren, dass es für die Bemerkbarkeit der Lücke gleichgültig sei, ob die

kritische Dauer der Unterbrechung durch Variation der Anzahl der ausgefallenen Phasen oder ob sie durch Variation der Successionsgeschwindigkeit der einzelnen Phasen verändert wird.

Bei den bisher mitgetheilten Versuchen wusste der Beobachter immer, welche Phasen verdeckt waren, und richtete deshalb seine Aufmerksamkeit auf den betreffenden Theil der Bewegung. Wir stellten daher auch einige Versuche an, bei denen der Beobachter gar nicht wusste, wo er unter Umständen eine Lücke entdecken könne. Die Resultate dieser Versuche sollen in folgender Tabelle mitgetheilt werden. Die Anordnung der Tabelle ist hinsichtlich der drei ersten Columnen dieselbe wie oben. Da aber bei diesen Versuchen öfters an zwei verschiedenen Stellen Phasen verdeckt wurden, so gibt die vierte Columnne das Urtheil des Beobachters über den Ort, wo er eine Unterbrechung bemerkt hat, nach Anfang, Mitte und Ende der Bewegung des Turners an. Die fünfte Columnne enthält dann wieder die kritische Dauer der Unterbrechung an der Stelle, wo der Beobachter eine solche bemerkt hat. Die sechste Columnne enthält die Raumgröße des dort verdeckten Theiles der Bewegung. In Klammern ist den Zahlen der fünften und sechsten Columnne die Dauer der Unterbrechung beziehungsweise die Raumgröße des verdeckten Theiles der Bewegung an der andern, vom Beobachter nicht bemerkten Stelle, wo ein Phasenausfall stattgefunden hat, beigefügt.

Tabelle IV.

Beobachter: Prof. Külpe.

Dauer einer Um-drehung	Zahl der verdeck-ten Pha-sen	Nummern der verdeckten Phasen	Urtheil des Beobachters. Lücke be-merkt:	Krit. Dauer der Unter-brechung	Raumgröße des verdeck-ten Theiles der Bewe-gung
1,4 Sec.	5 + 5	11—15 u. 19—23	in der Mitte	0,29 (0,29) Sec.	10 (8) mm
1,4 >	5	19—23	gegen Ende	0,29 >	8 >
1,0 >	5 + 5	11—15 u. 19—23	in der Mitte	0,20 (0,20) >	10 (8) >
1,1 >	5 + 5	3—7 u. 19—23	gegen Ende	0,23 (0,23) >	8 (18) >
1,0 >	5 + 5	3—7 u. 11—15	am Anfang	0,29 (0,29) >	18 (10) >
0,8 >	5 + 5	3—7 u. 11—15	am Anfang	0,17 (0,17) >	18 (10) >
0,8 >	4 + 5	3—6 u. 11—15	am Anfang	0,13 (0,17) >	15 (16) >
0,8 >	3 + 5	3—5 u. 11—15	am Anfang	0,09 (0,17) >	8 (10) >
0,8 >	2 + 6	3—4 u. 11—16	in der Mitte	0,19 (0,06) >	12 (5) >
0,8 >	4 + 5	11—14 u. 18—22	am Ende	0,17 (0,13) >	8 (7) >

Ueber die Richtung seiner Aufmerksamkeit machte der Beobachter am Schluss folgende Bemerkungen: Er hatte erwartet, dass immer nur an einer Stelle Phasen verdeckt würden. Hatte er eine Lücke bemerkt, so concentrirte er seine Aufmerksamkeit auf die betreffende Stelle.

In Columnne 5 dieser Tabelle sind die in Klammern aufgeführten Zahlen durchschnittlich ungefähr eben so groß, zum Theil sogar größer als die außerhalb der Klammern stehenden. Es kann daher, wenn die Aufmerksamkeit auf die Unterbrechung an einer bestimmten Stelle gerichtet wird, eine ungefähr gleich lange Unterbrechung an anderer Stelle unbemerkt bleiben. Die Richtung der Aufmerksamkeit übt also jedenfalls einen Einfluss auf die Bemerkbarkeit einer Lücke aus.

Bei unseren Versuchen nun mit den Bildern der bockspringenden Turner verfolgte der Beobachter stets den Verlauf der Bewegung. Eine Wiederholung des auf Seite 509 bereits erwähnten Experimentes, das Marbe mit den Bildern des über eine Hürde setzenden Reiters

angestellt hat, das heißt eine Beobachtung der Bewegung bei Fixation eines festen Punktes erwies sich bei Benützung des die bockspringenden Turner darstellenden Bildstreifens als unmöglich. Die ihrerseits selbst in einer gewissen verticalen Bewegung begriffene Gestalt des den Bock darstellenden Turners bot einen bestimmten Fixationspunkt nicht dar.

Wir begnügten uns deshalb, nochmals zu constatiren, dass schon eine ganz kleine Lücke in der Bewegung des eine Hürde nehmenden Reiters bemerkt wird, wenn man die Spitze der unbeweglich erscheinenden Hürde fest ins Auge fasst.

Nun fragt es sich, warum bei Fixation eines festen Punktes ein Phasenausfall ohne weiteres bemerkt wird, während er unbemerkt bleibt, wenn eine Fixation nicht stattfindet. Bevor wir jedoch an eine Beantwortung dieser Fragen gehen, wollen wir erst kurz die verschiedenen Momente auseinander halten, auf die wir dabei unser Augenmerk zu richten haben. Wir beobachteten bei den bisher mitgetheilten Versuchen eine complicirte Bewegung, die jedenfalls in zwei Theile zu zerlegen ist. Als primäre oder Hauptbewegung können wir das Fortgleiten des Gegenstandes als eines Ganzen bezeichnen. Unter dem Namen von secundären oder Nebenbewegungen fassen wir alle Gestaltveränderungen zusammen, die der bewegte Körper während seiner Bewegung aufweist.

Nun ist klar, dass mit jedem Ausfall von Phasen im Verlauf der Hauptbewegung auch die secundären Bewegungen mehr oder minder discontinuirlich werden und dass, wenn die letzteren uns discontinuirlich erscheinen, die erstere schwerlich den Eindruck vollkommener Continuität erwecken wird. Aber es ist sicher, und wir können täglich die Beobachtung machen, dass bei einigermaßen größerer Geschwindigkeit einer complicirten Bewegung die Nebenbewegungen unmöglich genau verfolgt werden können. Zudem beweist der oben aus den Versuchsergebnissen abgeleitete Satz, wonach die Raumgröße des Phasenausfalls, abgesehen von ihrem Einfluss auf die Dauer der Unterbrechung, keine Bedeutung für die Bemerkbarkeit der Lücke hat, dass die mit größerem Phasenausfall wachsende Discontinuität der Nebenbewegungen bis zu einem gewissen Grade für das Bemerkwerden einer Lücke nicht in Betracht kommt.

Auf die Frage aber, warum die Hauptbewegung trotz des Phasenausfalls continuirlich erscheint, könnte man drei Antworten versuchen.

Zunächst könnte man den Grund dafür in dem Verhalten unserer Sehschärfe vermuthen. Diese Ansicht hat Marbe¹⁾ bereits widerlegt.

Ein zweiter Erklärungsversuch wäre folgender: Wir könnten annehmen, dass durch die am Anfang und am Ende der Lücke dargebotenen Phasen nach einander zwei verschiedene Netzhautbezirke gereizt werden und dass (vielleicht auf Grund erworbener Associationen) die Tendenz vorliege, die erhaltenen Eindrücke im Sinne einer continuirlichen Bewegung zu deuten, und wir könnten vermuthen, dass, weil es sich um zwei successive Reize handelt, die räumliche Beziehung der beiden Eindrücke auf einander zu ungenau sei, als dass dadurch diese Tendenz überwunden würde. Wird dagegen ein mit jedem der beiden Reize gleichzeitig gegebener fester Punkt ins Auge gefasst, so ist natürlich im Sinne dieser Erklärung die Entfernung der beiden Eindrücke von diesem Punkt und somit auch die Entfernung der beiden Eindrücke von einander nur unterhalb der Grenze der Sehschärfe zu verkennen.

Gegen diese Erklärung ist aber in erster Linie einzuwenden, dass sie die Thatsache nicht berücksichtigt, dass wir bewegte Gegenstände mit den Augen verfolgen. Dass dies auch beim Beobachten einer stroboskopischen Bewegungserscheinung geschieht, davon überzeugten wir uns durch eine Reihe directer Beobachtungen der Augen der Versuchsperson. Unter Berücksichtigung dieser Thatsache aber gestaltet sich die Erklärung wesentlich einfacher.

Wir müssen dann annehmen, dass durch die am Anfang und am Ende der Lücke dargebotenen Phasen des bewegten Gegenstandes gar nicht verschiedene Netzhautbezirke gereizt werden, sondern dass das Bild des Gegenstandes immer auf ungefähr dieselben Netzhautstellen fällt. Eine Unterbrechung der Bewegung kann demnach nur dadurch uns zum Bewusstsein kommen, dass das Auge eine kurze Zeit hindurch gar nichts von dem bewegten Gegenstand sieht. Ist aber die Bewegung genügend rasch oder die Unterbrechung entsprechend klein, so ist das Bemerkwerden der Lücke ausgeschlossen, weil das Nachbild der letzten Phase vor der Lücke, wenn auch geschwächt, noch vorhanden ist, bis die erste Phase nach derselben auftritt. Sobald dagegen ein fester Punkt fixirt wird, ist das Verfolgen der Bewegung mit den Augen unmöglich und eine Lücke wird ohne weiteres bemerkt.

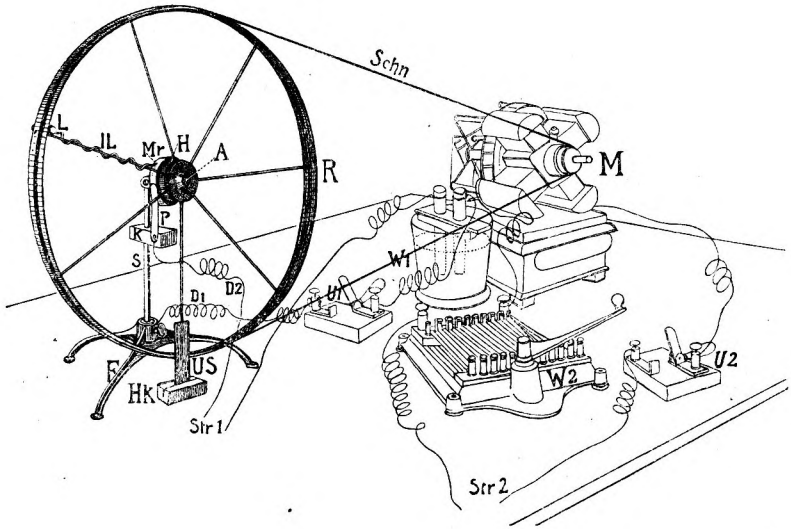
1) Marbe, Die stroboskopischen Erscheinungen, S. 399.

Diese Erklärung ist abgesehen davon, dass sie die experimentell nachgewiesene Thatsache der Augenbewegungen zur Grundlage hat, auch noch in anderer Hinsicht der vorher erwähnten vorzuziehen. Wir haben oben gefunden, dass möglichst kurze Dauer der Unterbrechung (auch wenn diese nur dadurch erzielt wird, dass bei bedeutendem Phasenausfall die Successionsgeschwindigkeit der einzelnen Phasen entsprechend vergrößert wird) günstig für das Verborgensein der Lücke wirkt. Wäre das Nichtbemerken der Unterbrechung bedingt durch erschwerte Localisation der am Anfang und Ende der Lücke gebotenen Phaseneindrücke, so müsste man erwarten, dass Verkürzung der Dauer der Unterbrechung, wodurch die Localisation der am Anfang und Ende der Lücke dargebotenen Phasen erleichtert werden muss, für die Bemerkbarkeit der Lücke günstig sei. Das ist aber gerade das Gegentheil unseres experimentellen Befundes. Dazu kommt noch, dass nach unseren Ergebnissen die räumliche Entfernung der beiden Stellen, an denen zwei Phasen nach einander dem Auge dargeboten werden, gar keinen oder nur ganz geringen Einfluss auf das Bemerkbarwerden der Lücke ausübt, während diese Entfernung nach der andern Erklärung gerade der ausschlaggebende Factor sein müsste.

Wenn wir nun aber daran festhalten, dass eine Lücke im Verlauf einer stroboskopischen Bewegung deshalb unter Umständen nicht bemerkt wird, weil sie für das Auge thatsächlich gar nicht vorhanden ist, so dürfen wir einer Consequenz dieser Annahme uns nicht verschließen. Bisher nämlich suchte man das Problem des Verborgenseins eines größeren Phasenausfalls bei stroboskopischen Erscheinungen durch den Hinweis auf centrale Vorgänge zu lösen. So behauptet Grützner, der Phasenausfall bleibe dann unbemerkt, wenn man den Verlauf der ununterbrochenen Bewegung sich vorher eingepägt habe. Diese Ansicht widerlegte Marbe. Aber auch er hielt es für wahrscheinlich, dass eine Lücke im Verlauf einer stroboskopischen Bewegung in Folge centraler Vorgänge unbemerkt bleibe. Dagegen begnügt sich die hier versuchte Erklärung mit der Herbeiziehung bekannter Vorgänge im Sinnesorgan, nämlich des Verlaufs der Netzhauterregung und der Augenbewegungen. Damit haben wir aufgehört, eine Sonderstellung der stroboskopischen Bewegungserscheinungen aufrecht zu erhalten, und müssen bei Beobachtung

des Verlaufs der einfachsten wirklichen Bewegung unter gewissen Umständen dieselben Thatsachen constatiren können wie bei der Wahrnehmung der complicirtesten stroboskopischen Bewegungserscheinung.

Um nun zu prüfen, ob dies thatsächlich der Fall sei, und um damit eventuell unsere Ansicht noch fester zu begründen, stellten wir einige Versuche in der Dunkelkammer an. Die Versuchsanordnung lässt sich am leichtesten unter Hinweis auf die beigegebene Zeichnung erläutern.



Ein um eine horizontale Achse (A) drehbares Rad (R) von 57 cm Durchmesser, das mit dieser Achse an einer verticalen Säule (S) angebracht war, wurde vermittelt eines Schnurlaufs ($Schn$) durch einen Elektromotor (M) in Rotation versetzt. An der Peripherie dieses Rades war ein elektrisches Lämpchen (L) von der Größe einer kleinen Erbse angebracht. Dasselbe war in eine enge, nach vorn offene Eisenhülle eingelassen, so dass es, wenn es glühte, einen wenig Licht verbreitenden, aber deutlich sichtbaren Punkt darstellte. Der elektrische Strom, durch den das Lämpchen in Gluth versetzt werden konnte, wurde in seinem einen Zweig (D_1) in den eisernen Fuß (F) des Apparates und von hier durch die eiserne Achse und die eisernen Speichen bis zum Lämpchen (L) geleitet. Der andere Zweig (D_2) des Stromes wurde zunächst auf ein Metallplättchen (P) geführt. Dieses

Metallplättchen war auf einem an der verticalen Säule des Apparates angebrachten Holzklötzchen (K) so befestigt, dass es parallel zu dieser Säule lief und mit seinem vorderen Ende einen Metallring (Mr) berührte, der in einen auf der eisernen Achse sitzenden Holzring (H) eingebettet war. Von diesem Ring aus führte eine isolirte Leitung (JL) längs einer Radspeiche bis zum Lämpchen. So wurde durch Schleifcontact dieser Theil des Stromes auf den mit dem Rade sich drehenden Metallring und von ihm aus zum Lämpchen geführt. In den Stromkreis (Str_1), der somit durch das Lämpchen hindurchging und dasselbe in Gluth versetzte, waren noch ein Unterbrecher (U_1) und ein Flüssigkeitswiderstand (W_1) eingeschaltet, durch welche letzteren die Helligkeit des Lämpchens variirt werden konnte.

Der Elektromotor (M) wurde durch einen andern Stromkreis (Str_2) versorgt, in welchen ebenfalls ein Unterbrecher (U_2) und ein Metallwiderstand (W_2) eingeschaltet waren. Hier diente der Widerstand dazu, die Geschwindigkeit zu variiren.

Vor dem Rade nun, an welchem das Lämpchen angebracht war, und zwar an der Stelle, wo es bei seiner Kreisbewegung den tiefsten Punkt seiner Bahn erreichte, wurde in 1 cm Entfernung ein mit einem Spalt versehenes Holzklötzchen (Hk) aufgestellt. Dieses war dazu bestimmt, schwarze Pappstreifen (US) von verschiedener Breite aufzunehmen, hinter denen das Lämpchen vorbeizog und durch die es kurze Zeit dem Auge des Beobachters verdeckt werden musste.

Der Beobachter, der 4 m von dem Apparat entfernt saß, sah nichts weiter als einen im Dunkeln eine Kreisbewegung beschreibenden, leuchtenden Punkt und hatte zu entscheiden, ob er eine Unterbrechung dieser Bewegung bemerkte oder nicht.

In den folgenden Tabellen sollen die Resultate dieser Versuche dargestellt werden. Die ersten Columnen enthalten die Breite des Unterbrechungstreifens in Millimetern ausgedrückt; in den zweiten ist die Dauer einer Umdrehung angegeben, bei welcher die Unterbrechung eben bemerkt wird. Die dritten Columnen geben die dieser Umdrehungsdauer und der Breite des Unterbrechungstreifens entsprechende kritische Dauer der Unterbrechung. In den vierten Columnen endlich ist die mittlere Variation der drei Ablesungen enthalten, aus denen die in den zweiten Columnen angegebenen Zahlen gewonnen wurden.

Tabelle V.

Beobachter: Prof. Külpe.

Breite der Unterbrechung	Dauer einer Umdrehung	Kritische Dauer der Unterbrechung	Mittlere Variation
5 mm	4,10 Sec.	0,011 Sec.	0,03
10 »	2,00 »	0,011 »	0,20
20 »	1,80 »	0,020 »	0,07
30 »	1,30 »	0,022 »	0,01

Tabelle VI.

Beobachter: Dr. Marbe.

Breite der Unterbrechung	Dauer einer Umdrehung	Kritische Dauer der Unterbrechung	Mittlere Variation
5 mm	5,70 Sec.	0,016 Sec.	0,80
10 »	2,37 »	0,016 »	0,03
20 »	1,78 »	0,019 »	0,06
30 »	0,67 »	0,011 »	0,07

Tabelle VII.

Beobachter: Verfasser.

Breite der Unterbrechung	Dauer einer Umdrehung	Kritische Dauer der Unterbrechung	Mittlere Variation
5 mm	2,96 Sec.	0,009 Sec.	0,21
10 »	2,81 »	0,016 »	0,11
20 »	2,16 »	0,024 »	0,11
30 »	1,71 »	0,029 »	0,02

Aus diesen Tabellen ergeben sich dieselben Sätze, wie aus den auf Seite 511 und 512 mitgetheilten.

1) Es darf ein ziemlich großer Abschnitt einer Bewegung ausfallen (Columnne 1), ohne dass die Unterbrechung bemerkt wird, sofern nur die Dauer der Unterbrechung (Columnne 3) eine hinreichend kurze ist.

2) Die Größe des Phasenausfalls (Columnne 1) scheint (bis zu einer gewissen Grenze), abgesehen von ihrem Einfluss auf die Dauer der Unterbrechung (Columnne 3), keine Bedeutung für die Bemerkbarkeit der Lücke zu haben. Wenn man nämlich eine Abhängigkeit der Zahlen für die kritische Dauer der Unterbrechung von jenen für die Breite des Unterbrechungsstreifens aus den Tabellen herauslesen wollte, so könnte man nach Tabelle V und VII nur zu der Ansicht kommen, dass eine größere Lücke weniger leicht bemerkt werde als eine kleinere, eine Ansicht, die wohl niemand aufrecht erhalten wird.

Wir können also jedenfalls hiermit als experimentell erwiesen betrachten, was wir auf Seite 517 als ein Postulat unserer Theorie hinstellten, dass wir uns nämlich gegenüber einem Phasenausfall im Verlauf einer einfachen wirklichen Bewegung gerade so verhalten, wie gegenüber einem solchen in einer stroboskopischen Bewegungserscheinung.

Mit Hülfe unserer oben beschriebenen Versuchsanordnung in der Dunkelkammer variierten wir nunmehr noch ein Moment, das uns möglicherweise für die Bemerkbarkeit einer Lücke in Betracht zu kommen schien, nämlich die Helligkeit des bewegten Objectes. Wir wählten nämlich eine bestimmte Unterbrechung und eine bestimmte Geschwindigkeit, bei welcher dieselbe eben bemerkt wurde, wenn das Lämpchen ziemlich hell leuchtete. Darauf ließen wir unter Beibehaltung derselben Größe des Unterbrechungsstreifens und derselben Geschwindigkeit durch Variation des Flüssigkeitswiderstandes die Helligkeit des Lämpchens bis auf ein Minimum abnehmen, fanden jedoch keine Aenderung, und zwar beobachteten sowohl Herr Dr. Marbe als auch ich selbst mehrmals die gleiche Thatsache. Darauf wählten wir auch andere Unterbrechungsgrößen und andere Geschwindigkeiten, konnten aber wiederum keinen Einfluss der Helligkeit auf die kritische Dauer constatiren. Nur einmal, bei 2 cm Unterbrechung, hatte Herr Dr. Marbe den Eindruck, als ob bei

ganz geringer Helligkeit die Unterbrechung weniger leicht bemerkt werde. Auf Grund dieser Versuche müssen wir annehmen, dass im allgemeinen (vielleicht von ganz geringen Helligkeiten abgesehen) die Helligkeit des bewegten Objectes keinen Einfluss auf die Bemerkbarkeit einer Discontinuität seiner Bewegung ausübt.

Es galt nun zum Schlusse noch einen Versuch anzustellen, um zu prüfen, wie wir uns gegenüber einem Phasenausfall im Verlauf einer wirklichen Bewegung verhalten, wenn wir durch Fixation eines festen Punktes verhindert sind, dieser Bewegung mit den Augen zu folgen.

Zu diesem Zwecke brachten wir ein Phosphorscheibchen von der Größe eines Quadratcentimeters an dem Holzklötzchen an, in dem die Pappstreifen aufgestellt wurden. Dieses Scheibchen leuchtete nicht sehr stark, war aber immerhin bei einer Entfernung des Beobachters von zwei Metern deutlich sichtbar. Wurde diese Phosphor-*marke* nun fixirt, so wurde eine Unterbrechung von fünf Millimetern selbst bei der größten erreichbaren Geschwindigkeit stets bemerkt; ebenso Unterbrechungen von ein, zwei, drei Centimetern. Diese Beobachtungen machte außer Herrn Dr. Marbe und mir auch Herr Professor Külpe.

Das Ergebniss dieses Versuchs entspricht vollständig der Beobachtung, die wir an den Bildern des über eine Hürde setzenden Reiters machten, wenn wir einige Phasen verdeckten und die Spitze der Hürde fixirten. Bei den zuletzt erwähnten Versuchen wurde übrigens von allen Beobachtern ein Gegensatz constatirt zwischen der Form der Unterbrechung, die ohne Benutzung einer Fixations-*marke* bemerkt werden kann, und der Form jener, die in Folge der Benutzung einer solchen bemerkt wird. Während man nämlich im ersteren Falle höchstens eine plötzliche Verdunkelung des Lämpchens wahrnimmt, sieht man im letzteren einen scharf begrenzten dunkeln Streifen zwischen dem Punkt, wo das Lichtchen verschwindet, und dem, wo es wieder auftaucht.

Zum Schlusse will ich nun die Ergebnisse dieser Arbeit in folgenden Sätzen zusammenfassen.

1) Zu den bisher bekannten Momenten, welche bei successiv-periodischer Netzhautreizung das Zustandekommen einer constanten

Empfindung beeinflussen, kommt ein weiteres hinzu, dessen Bedeutung sich folgendermaßen ausdrücken lässt:

Vermehrung der Anzahl der von einander verschiedenen Reize bei successiv-periodischer Netzhautreizung ist für die Verschmelzung ungünstig.

2) Die Ansicht Marbe's, dass die stroboskopischen Erscheinungen, soweit sie nicht Bewegungen zum Ausdruck bringen, sich vollständig aus den für intermittirende Netzhautreizung aufgestellten Gesetzen erklären lassen, hat eine experimentelle Bestätigung gefunden.

3) Die von Brücke mitgetheilte Beobachtung, dass intermittirend wirkende Netzhautreize die Empfindung der größten Helligkeit vor ihrer vollkommenen Verschmelzung erregen, scheint nur einen Theil einer umfassenderen Gesetzmäßigkeit zum Ausdruck zu bringen. Diese haben wir versuchsweise dahin formulirt, dass unter gewissen Umständen von intermittirend gesehenen Reizen derjenige, der seiner Natur nach geeignet ist, die Aufmerksamkeit am stärksten auf sich zu lenken, die scheinbare Helligkeit des Gesamtbildes hervorragend beeinflusst.

4) Die bisher für stroboskopische Bewegungserscheinungen constatirte Thatsache¹ des Verborgenseins eines größeren Phasenausfalles kann auf Grund unserer Versuche allgemeiner dahin formulirt werden:

Es darf ein ziemlich großer Abschnitt im Verlauf einer Bewegung ausfallen, ohne dass die Unterbrechung bemerkt wird, sofern nur die Dauer derselben eine hinreichend kurze ist.

5) Die Größe des Phasenausfalles im Verlauf einer Bewegung kommt (bis zu einer gewissen Grenze) abgesehen von ihrem Einfluss auf die kritische Dauer der Unterbrechung für die Bemerkbarkeit einer Discontinuität nicht in Betracht.

6) Dass ein größerer Phasenausfall im Verlauf einer Bewegung bei hinreichend kurzer Dauer der Unterbrechung nicht bemerkt wird, erklärt sich aus der Dauer der Netzhauterregung und der Thatsache der Augenbewegungen.
