

(Aus dem physiologischen Institut Freiburg i. B.)

## Über die Wirkung kurzdauernder Lichtreize auf das Sehorgan.

Von

J. v. KRIES.

(Hierzu Tafel I.)

Die Wirkung kurzdauernder Lichtreize auf unser Sehorgan ist in letzter Zeit wiederholt zum Gegenstande eingehender Untersuchungen gemacht worden.<sup>1</sup> Dafs hierbei eine Anzahl sehr eigenartiger und nicht ganz einfach deutbarer Erscheinungen auftreten, konnte schon durch die Beobachtungen PURKINJES als festgestellt gelten. Die Untersuchungen der neueren Autoren gehen nicht blofs bezüglich der Deutung, sondern auch bezüglich der Erscheinungen selbst einigermaßen auseinander. Allgemeine Übereinstimmung besteht nur darin, dafs auf die erste Empfindung, welche qualitativ mit derjenigen übereinstimmt, die das betreffende Licht bei längerer Einwirkung erzeugt, sehr bald (d. h. etwa um  $\frac{1}{5}$  Sekunden später) eine zweite, mehr oder weniger lang andauernde, folgt. Dies ist die Grundthatsache, welche, in mancherlei Variierungen beobachtet, auch schon eine Anzahl verschiedener Namen erhalten hat; in Deutschland seit lange unter dem Namen des PURKINJESchen Nachbildes bekannt, hat sie von englischen Autoren, die sie in den 70er Jahren neu fanden, die Benennung der recurrent vision erhalten. Widersprüche bestehen dabei hauptsächlich in Bezug auf zwei Punkte. Die englischen Beob-

---

<sup>1</sup> Vergl. die in meiner früheren Arbeit (*diese Zeitschrift* IX. S. 113, Anmerkung) gegebene Zusammenstellung der Litteratur.

achter, gleichermaßen auch HESS und BOSSCHA, sehen diese zweite Helligkeitsempfindung durch ein deutliches Intervall des Dunkels getrennt; EXNER konnte einen solchen Zwischenraum nicht bemerken. Bei Anwendung farbiger Lichter ferner beschreiben die meisten Autoren die zweite Empfindung als der Farbe des angewandten Lichtes komplementär. BIDWELL findet diese Regel allerdings nicht ganz ausnahmslos und genau zutreffend, doch stimmt mit ihr die Mehrzahl seiner Angaben. HESS dagegen beschreibt das sekundäre Bild als dem primären gleichartig gefärbt. Eine Erklärung dieser doppelten Reaktionsweise des Gesichtesapparates war bis vor kurzem nicht versucht worden. Nachdem aber andere Thatsachen zu der Vermutung geführt hatten, daß die Zapfen einer- und die Stäbchen andererseits zwei einigermaßen voneinander unabhängige lichtempfindliche Apparate darstellten, beide zur Auslösung von Empfindungen befähigt, war es nahe gelegt, das primäre Bild als einen durch die Reizung der Zapfen, das verspätete sekundäre als einen durch die Reizung der Stäbchen bewirkten Empfindungseffekt anzusehen. Hierfür schien vor allem der Umstand zu sprechen, daß, wie BIDWELL und ich nahe gleichzeitig fanden, die Erscheinung nur im roten Lichte fehlt, eben jenem, dem gegenüber wir auch aus anderen Gründen die Stäbchen als unerregbar uns denken müssen.

Ein weiteres Studium des Gebietes erschien bei dieser Sachlage zum Teil wegen der eben erwähnten Widersprüche der verschiedenen Autoren erwünscht, zum Teil aber auch im Hinblick auf ein sich gleich aufdrängendes Bedenken. Nach den Beobachtungen BIDWELLS entsteht die sekundäre Erregung etwa um  $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{5}$  Sekunden verspätet gegenüber der primären. Man kann bemerken, daß eine so stark verzögerte Erregung des Stäbchenapparates überall da, wo er allein funktioniert, nämlich in einem schwachen Licht, welches keine Unterscheidung von Farben mehr gestattet, beim „Dämmerungssehen“, wie ich es genannt habe, einen schwerwiegenden Nachteil darstellen würde. Es wird sich Gelegenheit finden, auf diesen Punkt später zurückzukommen. Vorderhand ist klar, daß eine weitere Untersuchung der Phänomene mit Rücksicht auf theoretische Fragen hauptsächlich darauf zu achten hatte, wie die Erscheinung von der Art und Stärke des benutzten Lichtes und ganz besonders auch, wie sie von dem jeweiligen

Adaptationszustande des Auges abhängt. Namentlich das letztere, bisher wenig beachtete Moment erschien im Hinblick auf die theoretische Vermutung besonders wichtig, da wir die Funktion der Stäbchen in höchstem Mafse uns durch die Adaptation beeinflufsbar denken müssen.

Was das benutzte Versuchsverfahren angeht, so bin ich zumeist dem von PURKINJE, EXNER und den englischen Autoren eingeschlagenen Wege gefolgt und habe mit fixiertem Blick ein im Kreise umlaufendes, Licht aussendendes Objekt beobachtet. Das Licht gleitet auf diese Weise über die Netzhaut hin, und man sieht demgemäfs in jedem Augenblicke die einander zeitlich folgenden Phasen des Empfindungseffektes in räumlicher Folge aneinandergeschlossen. Erblicken wir z. B. einen voranlaufenden blauen Kreis, dem, durch ein dunkles Intervall getrennt, ein heller, schwach gelblicher Schweif folgt, so können wir diesem sehr sicher zu beurteilenden Phänomen ohne weiteres entnehmen, dafs das blaue Licht bei kurzer Einwirkung auf eine Netzhautstelle eine Blauempfindung erzeugt, dann nach einem gewissen Intervall des Dunkels eine zweite Helligkeitsempfindung mit gelblicher Färbung ausgelöst hat. Das Zeitintervall beider Effekte ist, wenn gleichzeitig der eine auf der Stelle *a* und der andere auf der Stelle *b* des Gesichtsfeldes gesehen wird, demjenigen Zeitwerte gleich zu setzen, während dessen das Objekt von der Stelle *a* bis zur Stelle *b* hinläuft. Mir scheint die Beobachtung durch diese räumliche Auseinanderlegung eine gröfsere Sicherheit zu gewinnen als sie bei der Momentanreizung einer einzelnen Netzhautstelle er reichen kann, der kontinuierliche umlaufende Lichtreiz also im Allgemeinen den Vorzug vor dem einfachen Momentanreiz zu verdienen.

Im übrigen schlofs sich mein Versuchsverfahren fast genau dem von BIDWELL geübten an. In der Thür zweier Dunkelzimmer wurde eine runde Öffnung angebracht, die von der einen Seite her mit dem Lichte der elektrischen Bogenlampe, eventuell durch Entwerfung eines reellen Spektrums mit farbigem Lichte erleuchtet werden konnte. Das die Öffnung passierende Licht fiel im anderen Zimmer zunächst auf ein achromatisches Objektiv, sodann auf einen Spiegel, so dafs auf einem passend aufgestellten weifsen Schirm ein reelles Bild der Öffnung entworfen wurde; der Spiegel konnte um eine gegen seine Normale etwas geneigte Achse in Umdrehung versetzt werden, wobei

das reelle Bild auf dem Schirm eine Kreisbahn beschrieb. Die Rotation des Spiegels besorgte ein kleiner Elektromotor mit Zentrifugalregulierung, gewöhnlich so, daß eine Umdrehung 1,5 Sekunden erforderte. Die erwähnten objektiven Spektren wurden ebenso wie die weiße Beleuchtung durch das elektrische Bogenlicht gewonnen, was mit Benutzung eines geradsichtigen WERNICKESchen Prismas mit großer Leichtigkeit geschehen konnte; doch sei bemerkt, daß ich in vielen Fällen auch farbige Gläser, unter Verzicht auf die spektrale Zerlegung, verwendet habe, um die Farben von größerer Lichtstärke zu erhalten. Sodann ist noch zu erwähnen, daß in dem Schirme eine kleine Öffnung angebracht war, welche, von hinten her mit einer Milchglasplatte verdeckt und von einer sehr kleinen Gasflamme beleuchtet, ein passendes Fixationszeichen abgab. Eine kleine Verschiebung des rotierenden Spiegels erlaubt, die von dem Lichtbilde durchlaufene Bahn gegen die Fixationsmarke zu verschieben, so daß diese nach Belieben in der Mitte derselben, an den Rand etc. fiel, Verhältnisse, auf die sogleich genauer einzugehen sein wird.

Ehe ich an die Erörterung des Punktes gehe, dessen Aufklärung ich mir hauptsächlich vorgesetzt hatte, nämlich, wie die fraglichen Erscheinungen von dem Adaptationszustande des Auges abhängen, will ich eine bisher nicht bemerkte Eigentümlichkeit des Phänomens beschreiben. Wenn sich dasselbe in der, namentlich von den englischen Autoren beschriebenen Form präsentiert, daß das Nachbild durch ein ziemlich langes dunkles Intervall getrennt hinter dem primären Bilde herläuft,<sup>1</sup> und wenn man alsdann seine Bahn so legt, daß sie durch das Fixationszeichen geht, so ist in auffälligster Weise zu bemerken, daß das Nachbild (der „ghost“) in der nächsten Umgebung des Fixationspunktes verschwindet. Ich bin nicht durch theoretische Erwägung auf diese Beobachtung geführt worden, bemerkte vielmehr eigentlich zufällig eine eigentümliche Diskontinuität, etwas sozusagen Sprungweises in der Bewegung des Nachbildes. Bei genauerer Beobachtung stellte sich sogleich heraus, daß dasselbe einen kleinen Bezirk am Fixationspunkte überspringt. Die Erscheinung ist unter günstigen Bedin-

---

<sup>1</sup> Die Bedingungen für diese Art der Erscheinung werden unten angegeben werden.

gungen sehr leicht zu sehen und ungemein deutlich; es gehört dazu, wie gesagt, daß das Nachbild gut entwickelt und von dem primären Bilde durch ein möglichst langes dunkles Intervall getrennt ist; auch darf die Rotationsbewegung nicht zu schnell sein. So ist sie von mehreren Kollegen, denen ich sie zu zeigen Gelegenheit hatte, in ganz gleicher Weise wie von mir gesehen worden. Man hat, wie es einer derselben sehr treffend ausdrückte, den Eindruck, als ob das Bild in einem kleinen Abstände vom Fixationspunkte in einen Tunnel schlüpfte, aus dem es jenseits des Fixationspunktes wieder herausfährt.

Nachdem das Springen des sekundären Bildes in der Nähe des Fixationspunktes einmal nachgewiesen war, erschien es von Wichtigkeit, die Größe desjenigen Bezirkes zu ermitteln, der der Duplizität des Erregungseffektes ermangelt und über den also das sekundäre Bild hinwegzuhüpfen scheint. Der Versuch lehrte indessen sogleich, daß die Bestimmung auf diese Weise, mit der Methode des umlaufenden Bildes, sehr unsicher und ungenau ist. Ich versuchte, auf den weißen Schirm, auf den das umlaufende Bild projiziert war, und der eine kleine, von hinten erleuchtete Öffnung als Fixationszeichen trug, das reelle Bild einer kleinen Lichtöffnung zu projizieren und dieses auf denjenigen Punkt in der Nähe des Fixierzeichens einzustellen, wo der „ghost“ zu verschwinden schien. Doch war das Verfahren so schwierig und unsicher, daß ich keine brauchbaren Resultate erhalten konnte. Sehr gut gelangte ich dagegen zum Ziel, indem ich auf das umlaufende Bild ganz verzichtete. Vor der das Licht liefernden Öffnung rotierte eine Scheibe mit einem Schlitz, so daß die Öffnung einmal in  $1\frac{1}{2}$ —2 Sekunden für einen kleinen Bruchteil einer Sekunde sichtbar wurde. In den ersten Orientierungsversuchen, die ich selbst anstellte, war das reelle Bild der Öffnung auf eine weiße Tafel projiziert und konnte leicht in variable Entfernung von dem daselbst angebrachten Fixierzeichen gebracht werden. Hier war nun vortrefflich zu sehen, daß, wenn das aufblitzende Bild sich in größerer Entfernung vom Fixierpunkte befand, jedem Aufblitzen des blauen Bildes ein zweites Aufleuchten in kurzem Intervall folgte. Sobald dagegen das Bild nahe an den Fixationspunkt fiel, war hiervon nichts zu bemerken. Um die Grenze zu bestimmen, verfuhr

ich bei diesen ersten Versuchen so, daß ich dem kreisförmigen Bilde eine Größe von 1 cm Durchmesser und 4 cm Abstand vom Fixationspunkte gab. Ich wechselte dann meine Entfernung und bestimmte denjenigen Abstand, in den ich gehen mußte, um die Doppelschlägigkeit der Erregung verschwinden zu machen. Ich fand diese Abstände, wenn das Objekt horizontal neben dem Fixationszeichen stand, in verschiedenen Versuchen zwischen 172 und 211 cm, im Durchschnitt 184 cm, ohne sicheren Unterschied zwischen nasaler und temporaler Seite; bei Lage des Objektes über oder unter dem Fixierpunkt war ein Abstand von 212 cm erforderlich. Berechnet man unter der Voraussetzung, daß in diesen Fällen noch das ganze Objekt auf stäbchenfreiem Gebiete abgebildet worden ist, so ergäbe sich die Größe desselben derart, daß es, auf 1 m projiziert, einen horizontalen Durchmesser von 55, einen vertikalen von 47 m haben würde.

Empfehlenswert ist es für diese Versuche, niemals sehr starke Dunkeladaptation eintreten zu lassen, weil dadurch die Doppelschlägigkeit aus den alsbald zu erörternden Gründen an Deutlichkeit verliert. Ferner mag erwähnt werden, daß man wohl gelegentlich einmal zweifelhaft wird, ob nicht auch zentral eine Duplizität des Vorganges stattfindet; beobachtet man genau, so findet man, daß es die beiden schnell folgenden Veränderungen, Erhellung und Verdunkelung, sind, welche den unbestimmten Eindruck einer Duplizität hervorrufen. Es empfiehlt sich deswegen, von Zeit zu Zeit den Blick abzuwenden und sich durch Vergleichung wieder die charakteristische Erscheinung des zweiten Aufleuchtens vorzuführen. Instrukтив ist es auch, das Fixierzeichen in die Mitte des intermittierend aufleuchtenden kreisförmigen Objektes zu bringen. Man sieht dann, daß bei Betrachtung aus größerer Entfernung die Doppelschlägigkeit vollkommen fehlt; nähert man sich dem Objekte, so bemerkt man sehr deutlich, daß das zweite Aufleuchten zunächst nur am Rande auftritt, im allgemeinen einen schmalen sichelförmigen Streifen darstellend.

Um von subjektiven Präokkupationen unabhängig zu sein, veranlaßte ich Herrn Dr. PERTZ, eine Reihe ähnlicher Bestimmungen auszuführen. Das Verfahren war dabei ein etwas abweichendes; um möglichst hohe Lichtstärken in Anwendung bringen zu können, wurde eine im Fensterladen angebrachte,

mit Mattglas und einem blauen Glase verdeckte Öffnung direkt betrachtet. Dicht vor der Öffnung rotierte die verdeckende Scheibe mit ihrem Spalt. Der Abstand des Beobachters betrug 1 m, der Durchmesser der Öffnung 5 mm. Unmittelbar vor dem Auge des Beobachters war ein mikroskopisches Deckgläschen angebracht, welches das virtuelle Bild eines sehr kleinen und ganz schwach leuchtenden Glühlämpchens in die Nähe der Öffnung warf. Das Lämpchen war an einem horizontalen Arme drehbar befestigt, so daß sein Spiegelbild, sich horizontal verschiebend, über die Lichtöffnung hinglitt und in kleinen oder größeren Abstand von dieser gebracht werden konnte. Der Beobachter hatte in wiederholten Versuchen diejenige Stellung des Lämpchens aufzusuchen, für welche bei Fixation desselben noch sicher keine Doppelerregung zu bemerken war. Die Bestimmungen gelangen mit verhältnismäßig großer Genauigkeit und guter Übereinstimmung. Es ergab sich vom Fixationspunkt bis zu dem ihm abgekehrten Rande der Öffnung in einer ersten Reihe:

- a) bei lateraler Lage der Lichtöffnung 18,5—26,5, im Mittel 22 mm,
- b) bei medialer Lage der Lichtöffnung 13,5—18,5, im Mittel 15,5 mm;

in einer zweiten Reihe:

- a) bei medialer Lage 19,5—24,5, im Mittel 20,8 mm,
- b) bei lateraler Lage 12,5—17,5, im Mittel 14,8 mm.

Dürften wir annehmen, daß bei der hier ermittelten Grenze das Netzhautbild der Öffnung sich noch ganz auf stäbchenfreiem Gebiete abbildet, so könnten wir also den Durchmesser dieses Bezirkes, auf 1 m Entfernung projiziert, auf etwa 35—38 mm veranschlagen, was mit den anatomischen Thatsachen in genügender Übereinstimmung ist.<sup>1</sup>

Ich wende mich nunmehr zu der Besprechung des Einflusses, den die Adaptationszustände des Auges auf die fragliche Erscheinung ausüben. Es sei vorausgeschickt, daß dieser Einfluß in der That ein außerordentlich großer ist. Das eine Extrem hätten wir, wenn das Auge vollkommen hell adaptiert ist. Es möge also in dem zur Beobachtung dienenden Dunkelmzimmer sonst alles vorbereitet und in Gang gesetzt, die Läden

---

<sup>1</sup> Vergl. hierüber die Erörterungen in der vorangehenden Arbeit, *diese Zeitschr.* Bd. XII. S. 29.

jedoch noch offen sein; der Beobachter stehe auch nahe am Fenster, so daß die Augen dem vollen Tageslicht ausgesetzt sind. In wenigen Sekunden können alsdann die Läden heruntergelassen werden und die Beobachtung des umlaufenden Lichtbildes beginnen. Man sieht alsdann, wenn das angewandte Licht sehr hell ist, sogleich, bei etwas geringerer Lichtstärke aber nach ganz kurzer Zeit (1—2 Minuten), diejenige Form der Erscheinung, welche am charakteristischsten der Bezeichnung der englischen Autoren (*recurrent vision*) entspricht, nämlich das sekundäre Bild, von dem primären durch ein beträchtliches ganz dunkles Intervall getrennt, hinter ihm herlaufen. Wendet man nicht sehr starke Lichter an, so ist, wie gesagt, die Erscheinung nicht gleich im ersten Moment sichtbar; sie entwickelt sich in einigen Minuten. Man sieht dabei in einer gewissen Entfernung von dem primären Bilde zunächst eine besonders tiefe Schwärze; in dieser tritt zuerst ein unbestimmter heller Schein auf, welcher demgemäß von einem tief schwarz erscheinenden Hofe umgeben ist. Bald gewinnt das sekundäre Bild an Helligkeit und Deutlichkeit und wird auch zugleich länger. Anfangs nur ein schmaler Streifen, der hinter der Ausdehnung des primären Bildes noch zurückzubleiben scheint, streckt es sich in die Länge, wobei sein hinteres Ende, in einen langen Schweif verwandelt, nach hinten zu sehr unbestimmt begrenzt wird. Dabei sehe auch ich (ganz in Übereinstimmung mit BIDWELL) die tiefe Schwärze als einen nicht scharf begrenzten Hof, der das sekundäre Bild einfasst, und zwar vorn sowohl als seitlich.

Diese, wenn ich so sagen darf, schönste und eleganteste Erscheinung der *recurrent vision* habe ich versucht in Figur 1 darzustellen. Einige Besonderheiten sind an derselben noch hervorzuheben. An dem vorauslaufenden (primären) Bilde ist oft in sehr auffälliger Weise zu sehen, daß sein hinterer Rand konkav, das ganze Bild also halbmondförmig erscheint. Dies würde darauf hindeuten, daß der kurze Lichtreiz an jeder Netzhautstelle eine Erregung bewirkt, deren Dauer nicht im einfachen Verhältnis mit der Dauer des Lichtreizes wächst, so daß insbesondere ihr Ende nicht einfach überall um den gleichen Wert nach dem Ende der Beleuchtung stattfindet.

Was sodann die Farbe der sekundären, verspäteten Bilder anlangt, so habe ich sie stets schwach komplementär oder

wenigstens nahezu komplementär gefärbt gesehen; ich notierte bei Anwendung spektraler Lichter bei einwirkendem Licht Orange das nachlaufende Bild als bläulich, bei Grünlichgelb schön blau, bei Gelblichgrün blauviolett, bei Blaugrün schön rosa, bei Blau gelb, bei Violett schwach gelblich oder grünlich. Einzig bei blauem Licht konnte die Färbung zuweilen zweifelhaft sein und (besonders bei sehr starkem Licht) auch das sekundäre Bild bläulich erscheinen. Diese Abweichung von der Regel dürfte wohl daher zu erklären sein, daß an sich die durch Stäbchenerregung ausgelöste Empfindung nicht genau farblos, sondern leicht bläulich zu sein scheint, somit die komplementäre Gelbfärbung unter besonders ungünstigen Bedingungen steht.

Es wird jetzt zunächst zu betrachten sein, wie die Erscheinung von der Intensität des einwirkenden Lichtes abhängt, wobei im Auge zu behalten wäre, daß das Gesagte sich auf kurze Dunkeladaptation (4—10 Minuten) bezieht. Hier ist nun anzuführen, daß, um das Phänomen in der geschilderten Weise hervorzubringen, das einwirkende Licht selbstverständlich nicht zu schwach, aber auch nicht zu stark sein darf. Schwächt man während der Beobachtung das Licht ab, so erlischt alsbald das sekundäre Bild, und zwar lange ehe das primäre unsichtbar wird. Macht man den Versuch mit sehr intensivem Lichte, so erhält man gleichfalls eine andere Form der Erscheinung. Man sieht nämlich jetzt das primäre Bild weit mehr in die Länge gezogen, und das sekundäre schließt sich ihm direkt an. Dies ist etwa die Erscheinungsweise, welche EXNER beschrieben und abgebildet hat; die gleiche bekam auch ich bei den ersten Orientierungsversuchen zur Anschauung, deren ich früher kurz Erwähnung that und bei denen das in einer Kugel gespiegelte Licht eines Auerbrenners als Objekt diente.<sup>1</sup> Bei der Projizierung eines Lichtbildes habe ich so hohe Lichtstärken nicht erreichen können, wohl aber das Gleiche auch jetzt wieder beobachtet, wenn ich das leuchtende Diaphragma nicht auf dem Schirm abbilden liefs, sondern direkt im Spiegel betrachtete. Wenn ich solche Lichtstärken wähle, daß der gelbliche Schweif fast die ganze Kreisbahn

---

<sup>1</sup> *Über den Einfluß der Adaptation auf Licht- und Farbenempfindung und über die Funktion der Stäbchen.* Freiburg i. B. 1894. S. 11.

ausfüllt, so ist auch das primäre Bild bereits so weit nach hinten erstreckt, daß es den Beginn des sekundären erreicht. Hierbei ist noch eines zu beachten. Bei zunehmender Dunkeladaptation des Auges wächst (wovon gleich noch zu reden sein wird) ohnehin die Erstreckung des primären Bildes. Es kann daher kommen, wie ich es oft gesehen habe, daß man zunächst das sekundäre Bild deutlich getrennt von dem primären sieht, nach einiger Zeit die Bilder verschmolzen scheinen, dann aber eine Verminderung der Lichtstärke genügt, um das sekundäre wieder in deutlichem Abstand auftreten zu sehen.

Die Frage, weshalb einige Beobachter ein dunkles Intervall zwischen dem primären und sekundären Bilde beschreiben, andere nicht, läßt sich hiernach mit genügender Sicherheit beantworten. Wer mit gut dunkeladaptiertem Auge und intensiven Lichtern arbeitet, wird das Intervall vermissen; wer mit geringerer Dunkeladaptation und schwächeren Lichtern operiert, wird es finden.

Was das Zeitintervall des primären und sekundären Bildes anlangt, so ist eine genaue Bestimmung desselben schwierig. Die Schätzung des Bogenabstandes der beiden Bilder ist sehr unsicher und gewinnt auch nicht viel, wenn man, wie ich zunächst that, ein kleines Lichtzeichen auf einem Kreisbogen verschieblich anordnet und in solchen Abstand vom Fixationspunkte zu bringen sucht, daß er dem Abstände der beiden Bilder gleichkommt, resp. so, daß das sekundäre Bild jenes Signal in dem gleichen Augenblick erreicht, wo das primäre Bild am Fixierpunkte vorbeigleitet. Bessere Resultate erzielt man schon durch die bekannte Registriermethode, wie sie z. B. zur Darstellung der Zeitdifferenz der Herztöne viel benutzt worden ist. Man schlägt mit einem Metallstift auf eine Messingplatte so auf, daß die beiden Geräusche möglichst genau mit den Zeitpunkten zu koinzidieren scheinen, in welchen das primäre und das sekundäre Bild am Fixierpunkte vorbeigleiten. Weitaus am genauesten ist aber ein anderes Verfahren. An dem rotierenden Spiegel selbst kann man eine Vorrichtung treffen, vermöge deren bei jedem Umlauf zwei kurze Anschläge hörbar werden. Ein an dem Spiegel angebrachter und mit ihm umlaufender Vorsprung streift über zwei federnde Plättchen hin; dieselben werden dabei ein wenig niedergedrückt, und es kann auf diese Weise zugleich ein elektrischer Kontakt kurz

unterbrochen werden. Die Träger nun, an denen jene Plättchen befestigt sind, lassen sich (etwa wie beim Differentialrheotom) längs der Kreisperipherie verschieben. So kann man es nun ganz wohl und mit relativ großer Genauigkeit dahin bringen, daß der erste Anschlag dann gehört wird, wenn das primäre, der zweite dann, wenn das sekundäre Bild am Fixationspunkte vorbeiläuft. Auf diese Weise läßt sich wenigstens das mit Sicherheit konstatieren, daß die Zeitdifferenz zwischen dem Beginn des primären und dem Beginn des sekundären Bildes mit zunehmender Lichtstärke sich vermindert. Bei nicht sehr starkem Licht konnte ich das Intervall bis auf  $\frac{1}{4}$  Sekunde ansteigen sehen, und hiermit ist zugleich der höchste Wert der Verzögerung bezeichnet, den, soweit ich finde, die sekundäre Erregung gegenüber der primären erfahren kann. Mit Benutzung größerer Lichtstärken konnte ich das Intervall bei dem gleichen Adaptationszustande auf etwa  $\frac{1}{6}$  Sekunde vermindern und hätte es wohl noch weiter vermindern können, wenn nicht alsdann die Verlängerung des primären Bildes und die damit verbundene Reduzierung des dunklen Intervalls die Bestimmung erschwerte. Mit zunehmender Dunkeladaptation nimmt das in Rede stehende Zeitintervall, wenn man die Lichtstärke unvermindert erhält, auch ab. Doch kann ich darüber keine bestimmten Angaben machen, weil die niemals über längere Zeiten ganz konstante Lichtstärke der Bogenlampe sich hier als störende Fehlerquelle geltend machte.

Die Erscheinung kann in der oben beschriebenen Form, wie gesagt, bei hell oder schwach dunkeladaptiertem Auge gesehen werden. Zum Verständnis des Folgenden wird es am dienlichsten sein, wenn ich sogleich das entgegengesetzte Extrem schildere. Dies entspricht einer sehr hochgradigen Dunkeladaptation, und ich betone, daß, wenn man das Phänomen in der nunmehr zu schildernden Art sicher beobachten will, die im allgemeinen für maximale Adaptation ausreichende Dauer von einer halben Stunde nicht genügt; es ist wünschenswert, mindestens zwei Stunden die Augen vor Lichteinfall zu schützen. Bei diesem Augenzustande nun ist die Erscheinung völlig verändert. Eine recurrent vision ist gar nicht zu sehen; dagegen sieht man im unmittelbaren Anschluß an das primäre Bild einen, je nach der angewandten Lichtstärke längeren oder kürzeren, glänzend weißen Streifen.

Ich habe diese Erscheinung, wiederum für blaues Licht, in Figur 2 abzubilden versucht; man beachte, daß das Blau hier auf eine schmale vorauslaufende Sichel reduziert ist, welche in der That tief farbig erscheint, während gleich dahinter das glänzende Weiß die Farbe nahezu oder ganz verdeckt. Die übrigen Farben, wiederum mit alleiniger Ausnahme des Rots, zeigen ganz das Gleiche. In Vergleich zu demjenigen Phänomen, welches bei helladaptiertem Auge beobachtet wird, scheint also hier einerseits etwas Neues hinzu, andererseits etwas in Fortfall gekommen zu sein. Es schien mir zunächst wichtig, festzustellen, ob letzteres wirklich der Fall sei. Man konnte nämlich auch denken, daß vielleicht der durch die lange Adaptation neu-aufgetretene leuchtende Schweif das sekundäre Bild nur überdecke und vermöge seiner überwiegenden Helligkeit unbemerkbar mache. Es liefs sich in sehr einfacher Weise feststellen, daß dies nicht der Fall ist, sondern das sekundäre Bild wirklich durch die lange Dunkeladaptation fortfällt. Wenn man nämlich nur ein Auge in diesen Zustand versetzt und abwechselnd mit dem einen und dem anderen Auge beobachtet, so sieht man sehr deutlich mit dem einen den hellen weißen Schweif, mit dem anderen das sekundäre Bild. Beobachtet man alsdann binokular, so sieht man in großer Deutlichkeit beides. Dabei ist oft zugleich bemerklich, daß der weiße Schweif sich gar nicht bis an diejenige Stelle hin erstreckt, welche das sekundäre Bild einnehmen würde, sondern eine kürzere Erstreckung hat. Hieraus scheint mir zu folgen, daß die analoge Erscheinung, wenn sie im dunkeladaptierten Auge in ähnlicher Weise und besonders im gleichen Zeitintervall aufträte, auch sichtbar sein müfste.

Die nächstliegende Deutung dieser Thatsache wird offenbar die sein, daß durch die lange fortgesetzte Dunkeladaptation die Reaktionsweise der Stäbchen sich so modifiziere, daß nicht nur die Stärke ihrer Reaktion wächst, sondern zugleich auch die Promptheit, oder daß die anfänglich bedeutende Verzögerung, mit der sie in Erregung geraten, mit zunehmender Adaptation immer geringer wird. In der That spricht die genauere Betrachtung auch der zuletzt beschriebenen Erscheinung ganz dafür, daß der weiße Schweif der Erregung der Stäbchen seine Entstehung verdankt. Auch hier tritt das Weiß mit einer deutlichen, wenn auch freilich nur noch geringen Ver-

zögerung gegenüber der farbigen Erregung auf; dies macht sich in der, den vorderen Rand des primären Bildes ausmachenden tieffarbigen Sichel bemerkbar. Da diese Erscheinung sich bei Lichtern jeder beliebigen Farbe (mit alleiniger Ausnahme des roten) wiederfindet, so wird man sich wiederum zu der Annahme eines mit geringer Verspätung reagierenden und bei jeder Reizung die gleiche farblose Helligkeitsempfindung liefernden Apparates gedrängt sehen, wobei das Fehlen im roten Licht auch wiederum auf die Stäbchen hinweist.<sup>1</sup>

Ich darf nicht unterlassen, an dieser Stelle zu bemerken, daß die zuletzt erörterten Erscheinungen sich mit einer Anzahl schon von anderen Autoren beschriebener und zum Teil wohlbekannter Dinge decken, und daß diese in der That aus dem Zeitverhältnis der Stäbchen- und Zapfenerregung sich sehr gut erklären. Es sind die sog. „flatternden Herzen“, die hier anzuführen sind. Allerdings können gewiß die Scheinverschiebungen verschiedenfarbiger, rasch hin und her bewegter Objekte gegeneinander durch sehr mannigfache Umstände bedingt sein, und ich will keineswegs bestreiten, daß die von SCHAPRINGER u. A. gegebenen physikalischen Erklärungen für gewisse Fälle zutreffen. Zum Teil aber handelt es sich auch um ganz andere Dinge, und namentlich das, was SZILI beschrieben hat, steht mit den vorhin angeführten Erscheinungen in genauester Beziehung. Ich werde auf seine Angaben sogleich noch zurückkommen. Will man die Dinge in der theoretisch durchsichtigsten Weise zur Anschauung bringen, so befestige man auf der mattschwarzen Scheibe eines Farbenkreisels ein rotes und ein blaues Quadrat von 1 cm Seite und beobachte bei so herabgesetzter

---

<sup>1</sup> Das Fehlen an der Stelle des deutlichsten Sehens ist freilich hier, wo der Schweif sich dem primären Bilde unmittelbar anschließt, schwieriger zu sehen. Doch kann man sich auch davon ganz wohl überzeugen. Ich fand es dazu am vorteilhaftesten, dem laufenden Lichtbilde die Gestalt eines Streifens zu geben, der z. B. horizontal liegt und den Fixationspunkt vertikal aufsteigend passiert. Überdies hält man zweckmäßig einen Schirm mit seinem oberen horizontalen Rande derart vor die Augen, daß der blaue Streifen erst dicht am Fixationspunkte dahinter auftaucht. Alsdann sieht man recht gut, daß das blaue Bild rechts und links zwei weiße Schwänze hinter sich herzieht, welche gegen den Fixationspunkt zu unscharf begrenzt sind, diesen aber selbst frei lassen. Erst etwas über dem Fixationspunkte erstreckt sich der weiße Schein von rechts nach links kontinuierlich.

Beleuchtung, daß das Rot noch gut sichtbar und in seiner Farbe erkennbar, das Blau exzentrisch gut sichtbar ist, bei direkter Fixation dagegen verschwindet. Angenehm ist für diesen Versuch, wenn man im Beobachtungszimmer etwa mit Hilfe zweier Lichtöffnungen, deren eine mit rotem, die andere mit blauem Glase bedeckt ist, die Stärke der roten und der blauen Beleuchtung unabhängig voneinander regulieren kann. Hat man sich in der angegebenen Weise ein nur stäbchen-sichtbares Blau hergestellt und läßt dann die Scheibe langsam rotieren, so bemerkt man, wie der vordere Rand des roten Feldes dem des (farblos erscheinenden) blauen um einige Millimeter voraneilt. Faßt man den Farbenkreisel mit der Hand derart, daß man ihn kurze Hin- und Herdrehungen ausführen lassen kann, so ist das gleiche Zurückbleiben des lichtschwachen Blaus hinter dem Rot wahrzunehmen, und eben hierdurch entsteht der Eindruck des „Flatterns“ in der frappantesten Weise. Befestigt man einfach auf einem schwarzen Täfelchen ein rotes und ein blaues Scheibchen und macht mit dem Täfelchen kurze Bewegungen, so ist das nämliche zu beobachten. Will man das Flattern mit Benutzung eines farbigen Objektes auf andersfarbigem Hintergrunde gut sehen, so ist es erforderlich, zwei Farben zu wählen, die möglichst ungleiche Stäbchenvalenz haben, und es so einzurichten, daß das eine keine Farbenempfindung hervorruft. In der That sieht man, daß in all den von SZILI angegebenen Kombinationen die Stäbchenvalenz von Objekt und Grund sehr verschieden ist.

In besonders interessanter Weise finde ich aber diejenigen Beobachtungen SZILI's mit dem auch von mir Gesehenen im Einklange, welche sich auf etwas größere Lichtstärken beziehen. Ich führe als vorzugsweise beachtenswert den nachfolgenden Passus an:

„Wenn ich diese Tafel (roter Grund mit kreisrunder grüner Scheibe) etwa in einem Meter Entfernung von der Kerzenflamme vor mir halte, indem ich meinen Blick auf die grüne Scheibe richte, so bemerke ich bald über der letzteren einen hellen glanzähnlichen Schimmer, welcher mit den leisesten Schwankungen meiner Hand oder meines Blickes erzittert. Bewege ich die Tafel in mäßigem Tempo und in kurzen Abweichungen in ihrer Ebene hin und her, dann bleibt dieser Schimmer als zusammenhängendes zweites Bild der Scheibe

offenbar mit meinem nicht rasch genug folgenden Auge zurück. Am besten kann ich daher die Erscheinung beobachten, wenn ich bei dem Versuche womöglich die gleiche Blickrichtung beibehalte. Beim Hin- und Herbewegen schiebt sich bald rechts, bald links von der wirklichen Scheibe ein sichelförmiges Stück dieses zweiten Bildes über den roten Grund, während am entgegengesetzten Rande ein ebensogroßes sichelförmiges Stück der Scheibe selbst von dem Schimmer frei wird. Wenn ich bei diesem Versuche meine Aufmerksamkeit auf die Vorgänge an immer demselben Rande der Scheibe gerichtet halte, so erscheint mir das zurückbleibende sichelförmige Stück des zweiten Bildes ganz untrüglich in der Farbe des roten Grundes, jedoch viel heller als dieser; hingegen sehe ich das Stück der Scheibe selbst, welches bei der Bewegung jenem zweiten Bilde voraus-eilt, in ihrer ursprünglichen grünen Farbe, aber wesentlich dunkler, als der von dem Schimmer bedeckte Teil der Scheibe.<sup>1</sup>

Man sieht, SZILI kommt lediglich durch die Analyse dieser Erscheinung auch geradezu zu der Annahme eines mit einiger Verspätung auftretenden farblos hellen Bildes der grünen (ebenso einer blauen) Scheibe.

Wer die Erscheinung eines blauen Quadrates, welches auf schwarzer Scheibe des Farbenkreisels befestigt ist und mit dieser langsam umläuft, mit Aufmerksamkeit beobachtet, wird die Richtigkeit der SZILISCHEN Beschreibung bestätigen und den vorauslaufenden tiefblauen Rand wahrnehmen, sofern er mit geringen Lichtstärken und einigermaßen dunkeladaptiertem Auge arbeitet. Bei weitem frappanter ist freilich die Erscheinung, wenn man, in der oben geschilderten Weise, im Dunkelzimmer einen umlaufenden, ziemlich lichtstarken, farbigen Fleck beobachtet, nachdem das Auge etwa eine Viertelstunde oder länger für dunkel adaptiert worden ist. Gewiss aber ist, daß meine oben mitgeteilten Beobachtungen sich zum Teil mit denjenigen SZILIS decken, und daß, die Richtigkeit unserer Deutung vorausgesetzt, auch diese letzteren auf das zwischen Zapfen- und Stäbchenreaktion bestehende Zeitverhältnis zurückzuführen sein werden.

Im ganzen wird es hiernach als eine nicht unwahrscheinliche Vorstellung erscheinen, daß die Stäbchen mit zunehmen-

---

<sup>1</sup> Diese Zeitschr. III. S. 362.

der Adaptation immer stärker und immer schneller reagieren, und auf diese Weise die eine Erscheinungsart ihrer Thätigkeit in die andere übergeht. So einfach und ansprechend aber eine solche Vorstellung auch erscheinen mag, so glaube ich doch, daß die genauere Betrachtung nötigt, sie abzuweisen und eine kompliziertere an ihre Stelle zu setzen. Wir können, um das Resultat sogleich vorzuschicken, der Annahme nicht ausweichen, daß Empfindungen unter Vermittelung des Stäbchenapparates in zwei verschiedenen Modis ausgelöst werden können, welche sich bezüglich ihrer zeitlichen Verhältnisse unterscheiden und von denen der eine, stark verzögerte, im helladaptierten oder doch nur schwach dunkeladaptierten Auge besonders stark bemerkbar ist, bei sehr langer Dunkeladaptation aber schwindet, der andere dagegen (weit weniger verzögerte) mit zunehmender Dunkeladaptation immer stärker hervortritt.

Der Grund für diese Annahme liegt zunächst darin, daß, wenn man die allmähliche Modifikation der Erscheinungen bei zunehmender Dunkeladaptation verfolgt, keineswegs die eine Erscheinungsform dergestalt in die andere übergeht, daß das sekundäre Bild dem primären immer näher rückt und dabei an Helligkeit gewönne. Es verhält sich in der That nicht so; sondern schon nach einigen Minuten der Dunkeladaptation, während das sekundäre Bild in großer Deutlichkeit und Schönheit getrennt sichtbar ist, sieht man an dem primären den weissen Schweif sich entwickeln. Es ist auch hier besonders instruktiv, das eine Auge helladaptiert zu lassen, das andere etwa zehn Minuten lang dunkel zu halten. Beobachtet man dann abwechselnd mit dem einen und dem anderen, so ist der Unterschied in der Erscheinung des primären Bilde äußerst auffällig, das helladaptierte sieht das blaue Bild in der Art des in Figur 1 dargestellten. Das mäßig dunkeladaptierte sieht es dagegen in der Erscheinung der Figur 2, wenn auch noch nicht in stärkster Entwicklung, so doch schon mit großer Deutlichkeit; es kann kein Zweifel sein, daß dieser Teil der ganzen Erscheinung schon durch die kurze Adaptierung stark modifiziert ist; daneben aber besteht das verspätete sekundäre Bild noch ganz deutlich. Hier bestehen also, wie man sagen kann, beide Stäbchenfunktionen, die wenig und die stark verzögerte, deutlich nebeneinander.

Der andere Grund ist der folgende. Wenn man bei mäßig dunkeladaptiertem Auge ein z. B. blaues Licht so weit abschwächt, daß dasselbe zentral unsichtbar ist und überhaupt nur farblos gesehen wird, also, wie wir annehmen dürfen, nur die Stäbchen erregt, so ist seine Wirkung gegenüber derjenigen eines roten Lichtes zwar merklich verzögert, aber nicht entfernt um denjenigen Betrag ( $\frac{1}{5}$  Sek.), den wir erwarten müßten, wenn die hier zur Geltung kommende Stäbchen-erregung identisch wäre mit derjenigen, die sonst das sekundäre Bild lieferte. Stellt man sich zwei Bilder her, die miteinander umlaufen, ein rotes und ein blaues, und richtet die Lichtstärke des blauen in der oben erwähnten Weise ein, so sieht man allerdings das farblose Bild des lichtschwachen Blaus um ein wenig hinter dem roten Bilde herlaufen, wenn die Objekte genau nebeneinander oder übereinander stehen; aber die Verschiebung ist gering, sie erreicht niemals auch nur entfernt den Wert jenes großen Abstandes, um den die recurrent vision getrennt erscheint.<sup>1</sup> Verstärkt man das blaue Licht, so sieht man dieses wenig verspätete Bild allmählich Farbe gewinnen, und, ohne seine Stellung zu dem roten sehr erheblich zu ändern, allmählich in die uns bekannte Form des primären Bildes übergehen, während gleichzeitig in bedeutendem Abstände das sekundäre Bild aufzutreten beginnt. Hiermit steht auch ganz in Übereinstimmung, daß (wie die Herren Dr. NAGEL und BREUER fanden) bei Anwendung von zentral unsichtbaren, lichtschwachen blauen Lichtern als Signalen keineswegs besonders stark verlängerte Reaktionszeiten gefunden wurden. Die Versuche sind, da im wesentlichen nur dies negative Resultat interessierte, nicht weiter fortgesetzt worden; mit Sicherheit aber ergeben sie, daß zwischen der Anwendung roter und (nur stäbchensichtbarer) blauer Lichter, und zwar bei mäßig dunkeladaptiertem Auge, kein sehr großer Unterschied, jedenfalls entfernt keiner von  $\frac{1}{5}$  Sekunde besteht.

Es ist hiernach klar, daß bei der Beobachtung mit mäßiger Dunkeladaptation schon in dem primären (vorderen) Bilde eine Beteiligung der Stäbchenfunktion angenommen werden muß.

<sup>1</sup> Nach den oben erwähnten Versuchen, bei denen nebeneinander ein rotes und ein (nur stäbchensichtbares) blaues Objekt auf schwarzer Scheibe rotieren, möchte ich die Verzögerung der farblosen Empfindung gegenüber der roten nur auf etwa  $\frac{1}{50}$  Sekunde taxieren.

Hierdurch löst sich die ganz zu Anfang beregte Schwierigkeit; in der That kommt der Stäbchen-erregung eine so starke Verspätung (welche anzunehmen man aus allgemeinen Gründen Bedenken tragen müßte) nicht allgemein zu, sondern nur unter besonderen Bedingungen. Auf der anderen Seite aber muß man ohne weiteres zugestehen, daß die Erklärung der sekundären Bilder hiermit jene Einfachheit einbüßt, welche sie auf den ersten Blick zu gestatten schien. Die Duplizität der Erregung schien völlig begreiflich, wenn man durchweg in der ersten die Thätigkeit des einen, in der zweiten die des anderen Apparates erblicken durfte. Müssen wir (und das ist, wie ich glaube, der Fall) den Stäbchen die Fähigkeit zuschreiben, bei momentaner Reizung zwei zeitlich auseinanderfallende Empfindungseffekte zu liefern, so stehen wir doch wieder vor einem Problem. Natürlich drängen sich mancherlei Vermutungen darüber auf, wie sich dasselbe vielleicht lösen wird. Mancher wird geneigt sein, an die Zersetzung des Sehpurpurs einer- und des Sehgelbs andererseits zu denken. Ein anderer Gedanke wäre der, daß nach allem, was man über die Bildung des lichtempfindlichen Stoffes weiß, ein Vorkommen desselben nicht bloß in den Stäbchen, sondern auch außerhalb derselben angenommen werden kann, und daß die verspätete Erregung vielleicht auf einer Wirkung des Lichtes auf diesen letzteren Anteil beruhen könne. Hierbei wird dann nicht bloß an eine sekundäre Wirkung auf die Stäbchen zu denken sein, sondern es könnte eventuell sogar auch eine ähnliche auf die Zapfen ausgeübte in Erwägung zu ziehen sein. Denn es ist ja klar, daß die Umstände, die uns zunächst veranlafsten, das sekundäre Bild auf die Stäbchen zu beziehen, sein Fehlen im roten Lichte und auf der Fovea, sich gleich gut auch verstehen ließen, wenn es sich überhaupt um eine Wirkung des Sehpurpurs handelte. Beruht vielleicht die wenig verzögerte Weißempfindung auf der direkten Erregung der Stäbchen mittelst des in ihnen angesammelten Sehpurpurs, die stark verzögerte auf einer Erregung der Zapfen durch den nicht in ihnen, sondern nur in ihrer Umgebung angesammelten Sehstoff?<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Bei dieser Auffassung wird sich verstehen lassen, weshalb nur das stark verzögerte Bild komplementär gefärbt erscheint. Ferner spricht zu ihren Gunsten auch eine Thatsache, die ich um so weniger unerwähnt lassen möchte, als sie meinen im voraus gehegten Erwartungen widersprochen hat. Eine total Farbenblinde, die ich kürzlich zu untersuchen

Für eine Beantwortung dieser Fragen wird wohl die sehr eigenartige Abhängigkeit der verspäteten sekundären Bilder von der Adaptation ganz besonders zu berücksichtigen sein. Günstigste Bedingung für die recurrent vision ist in der That das Verweilen im hellen Licht mit darauffolgender kurzer Dunkeladaptation. Denkt man sich, daß die Bildung des Sehpurpurs, die sekretorische Thätigkeit des Pigmentepithels durch die Belichtung des Auges angeregt wird, so begreift man, daß, wenn das Auge verdunkelt wird, der Vorrat dieses Körpers zunächst, wegen der fortfallenden Zerstörung bei noch lebhafter Bildung, anwächst, allmählich aber bei nachlassender Thätigkeit der secernierenden Elemente wieder mehr und mehr abnimmt.<sup>2</sup> Aber auch an andere Vorgänge, namentlich die Vor- und Rückwanderung des Pigments, kann natürlich gedacht werden.

Niemand wird bestreiten und niemand wird sich darüber wundern, daß wir uns hier noch im ungewissen bewegen. Ich möchte betonen, daß auch in einer anderen Beziehung, nämlich hinsichtlich der Färbung der sekundären Bilder, wir zunächst nur zu einigermaßen unbestimmten und weitere Fragen involvierenden Vorstellungen gelangen können. Mit dem, was wir sonst wissen, wird es im Einklang sein, daß in dem trichromatischen Apparat alsbald nach Beendigung des farbigen Lichtreizes ein negativ komplementäres Nachbild entsteht. Man darf nicht übersehen, daß, wenn wir die Färbung des nachlaufenden Bildes hierauf zurückführen, dabei doch die Art und

---

Gelegenheit hatte, konnte die nachlaufenden Bilder nicht wahrnehmen. Die recht gute Beobachtungsfähigkeit des Mädchens macht es unwahrscheinlich, daß sie es lediglich übersehen haben sollte; immerhin wird die Bestätigung an anderen Fällen abzuwarten sein. Fehlt aber die recurrent vision wirklich bei dem nur mit Stäbchen ausgerüsteten Sehapparate des total Farbenbenblinden, ebenso, wie an der nur Zapfen führenden Fovea des Normalsehenden, so bliebe in der That kaum etwas anderes übrig, als die Erscheinung auf irgend ein Zusammenwirken beider Apparate zurückzuführen.

<sup>2</sup> Die Bedeutung des vorausgegangenen Aufenthaltes im Hellen für die recurrent vision hat sich uns im Laufe fortgesetzter Beobachtungen mit immer größerer Deutlichkeit herausgestellt. Wir fanden stets bei länger ausgedehnten Beobachtungen, daß es vorteilhaft ist, den Aufenthalt im Dunkelzimmer zu unterbrechen, sich für kurze Zeit in volle Tagesbeleuchtung zu begeben und dann wieder nach einem Dunkel-aufenthalt von nur wenigen Minuten zu beobachten.

Weise, wie hier beide Apparate zur Erzeugung einer Empfindung zusammenwirken, ungewiß bleibt. In meiner ersten Mitteilung habe ich den Ausdruck gebraucht, daß das von den Stäbchen herrührende positive mit dem negativ-komplementären der Zapfen „verschmilzt“, um damit in möglichst allgemeiner Weise anzudeuten, daß der Empfindungseffekt als ein kombiniertes Ergebnis beider Thätigkeiten aufzufassen ist. Wie sie sich aber kombinieren, das scheint mir vorderhand auch noch fraglich. Es wird um so weniger angezeigt sein, sich in der Erörterung von Möglichkeiten zu verlieren, als hier Fragen vorliegen, zu deren Beantwortung eine passend geführte Untersuchung der Umstimmungserscheinungen wohl Angriffspunkte bieten wird. Interessant ist jedenfalls, daß der dem primären Bilde sich direkt anschließende Schweiß, wie er bei guter Dunkeladaptation gesehen wird, rein weiß, oder schwach gleichfarbig, niemals komplementär gesehen wird.

Die Unbestimmtheit des theoretischen Ergebnisses wird, wie ich hoffe, nicht die ganze obige Mitteilung als gegenstands- und nutzlos erscheinen lassen. In der That haben wir kaum über die gleich zu Anfang sich ergebende Vermutung hinausgelangen können, daß das nachlaufende Bild irgendwie unter Beteiligung der Stäbchen oder des Sehpurpurs zu stande komme, und wir mußten hierfür sogar noch mannigfaltigere Möglichkeiten in Betracht ziehen, als zu Anfang vermutet werden konnte. Als Hauptsache erschien mir aber, einige neue Thatsachen angeben zu können, nämlich das Fehlen des Phänomens am Fixationspunkte und seine ausführlicher geschilderte Abhängigkeit von der Adaptation. In theoretischer Beziehung läßt sich wohl erwarten, daß sich das ganze Erscheinungsgebiet noch fruchtbarer erweisen wird, wenn unsere Kenntnisse auch in anderen Beziehungen vervollständigt sein werden. Auch gegenwärtig aber verdient es wohl mehr Beachtung, als es bis jetzt gefunden hat. Ich erinnere an die an anderer Stelle mitgeteilte, vorläufig auch noch vereinzelt Beobachtung, daß einem mit Hemeralopie Behafteten das nachlaufende Bild in keiner Weise sichtbar gemacht werden konnte. Weitere Ermittlungen über individuelle Unterschiede, oder pathologische Modifikationen der Erscheinungen könnten wohl von Interesse sein. Ich kann in dieser Richtung nur noch anführen, daß ein Dichromat (Dr. NAGEL) die Dinge genau wie ich selbst sah, allein mit dem

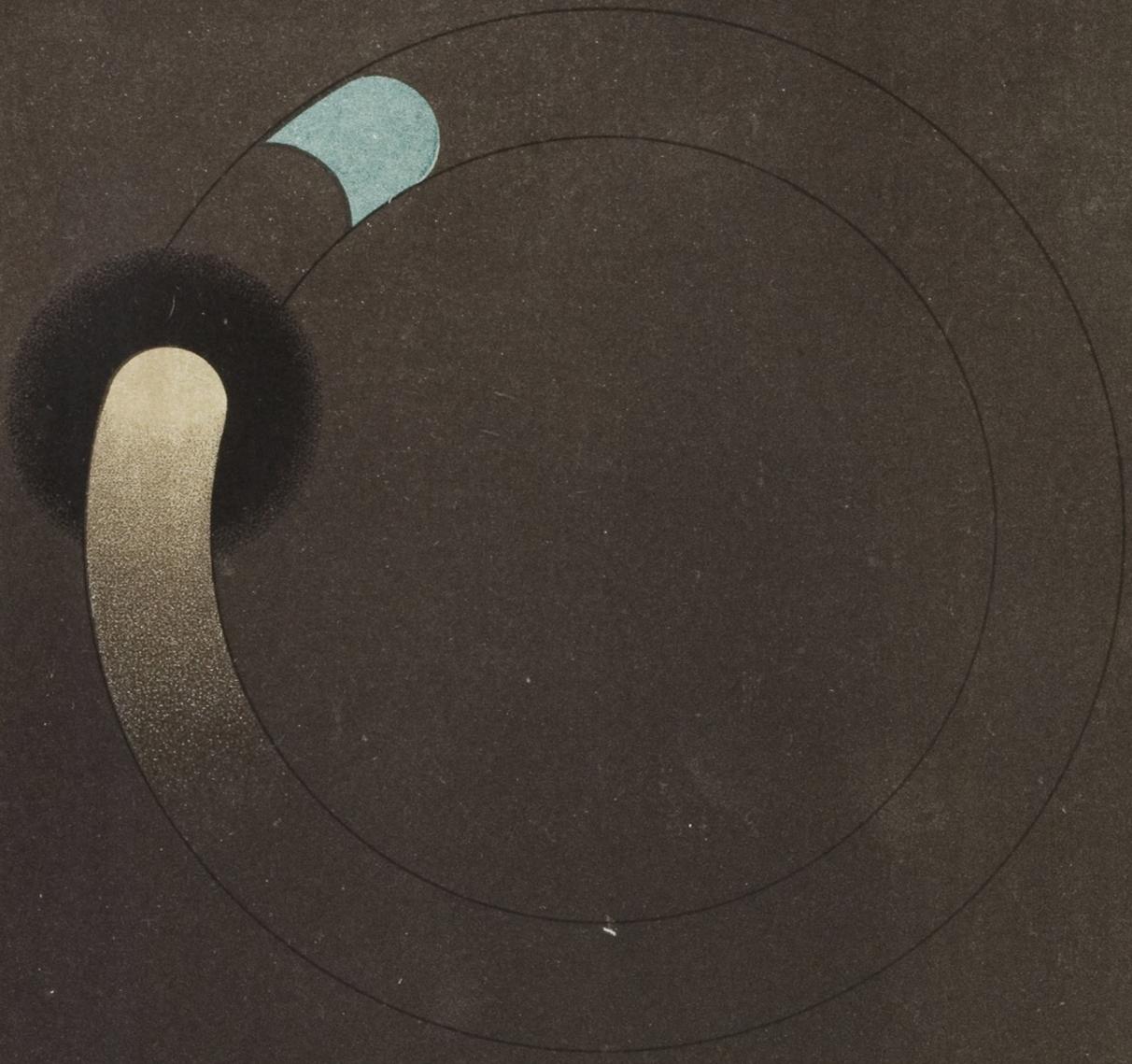
Unterschiede bezüglich der Färbung, die sich aus seiner Farbenblindheit selbstverständlich ergaben.

---

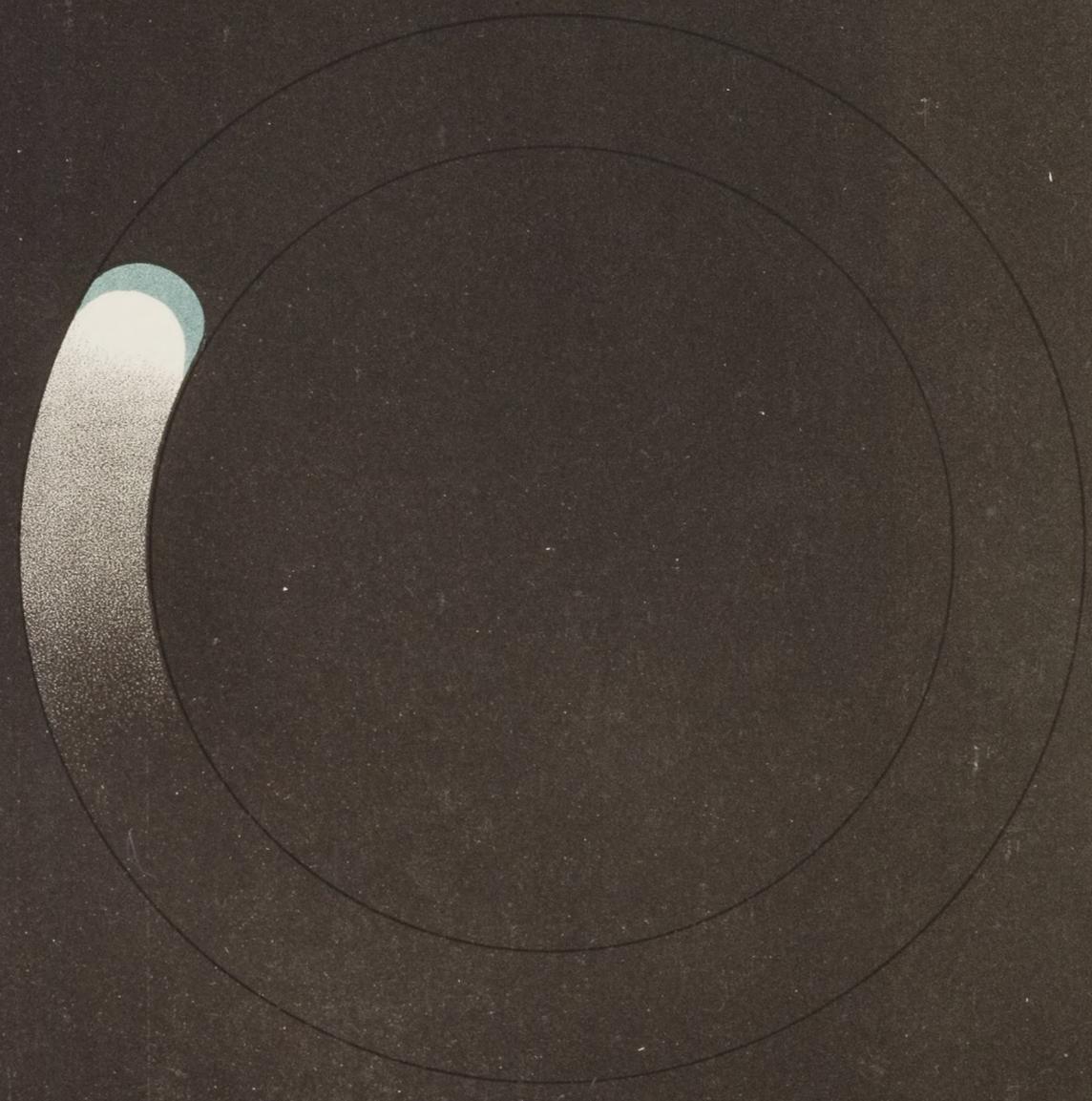
### **Erklärung der Tafel.**

Die Bilder stellen die Erscheinung eines im dunkelen Gesichtsfelde in kreisförmiger Bahn umlaufenden blauen Kreises (bei fixiertem Blick) dar, und zwar Fig. 1 bei helladaptiertem Auge oder nach Dunkelverweilzeit von nur wenigen Minuten, Fig. 2 nach sehr langer Dunkeladaptation (mehr als zwei Stunden). Die schwarzen Kreislinien sind in der Tafel nur zur Erläuterung beigelegt und bezeichnen die vom blauen Bilde durchlaufene Bahn, gehören aber nicht zum Phänomen. Bemerkte sei noch, daß die Darstellung der Erscheinung im Farbendruck selbstverständlich zu wünschen übrig läßt. Doch giebt die Abbildung eine gewisse Vorstellung von der Sache und wird es jedenfalls dem, der die Versuche wiederholt, erleichtern, das von mir Gesehene wiederzuerkennen.

---



1.



2.

