

Zur Kenntnifs des Ablaufes der Erregung im Sehorgan.

Von
Prof. C. Hess in Würzburg.

(Mit 1 Fig.)

I. Eine bisher unbekannte Nachbilderscheinung.

Bewegt man eine ca. 20 cm lange, 1 mm breite, rothgelbe Lichtlinie¹, die in ihrem mittleren Theile auf einer Strecke von $\frac{1}{2}$ cm unterbrochen ist, in einem Abstände von 30—50 cm mit mäßiger Schnelligkeit vor dem ohne Fixirobject geradeaus gerichteten Auge vorüber, so sieht man leicht Folgendes (S. Abbildung 1):

Zunächst erscheinen (Phase 1; vergl. auch Capitel II) zwei rothgelbe Linien, durch einen dunklen Zwischenraum von einander getrennt; danach folgt (Phase 2) eine schmale, dunkle Strecke, die unter den einen Bedingungen continuirlich erscheint, unter anderen Verhältnissen aber an der der Unterbrechung des primären Bildes entsprechenden Stelle einen röthlichen Fleck

¹ Zur Herstellung dieser Linie benutzte ich einen 20 cm langen Kohleglühfaden, dessen Glashülse von einem schwarzen Blechmantel umschlossen war; aus letzterem war parallel zum Glühfaden ein ca. 20 cm langer, 1 mm breiter Schlitz ausgeschnitten, der mit weißem Papier hinterlegt wurde; der Schlitz erschien dann als gleichmäßig helle Linie, deren Lichtstärke durch einen passend angebrachten Rheostaten innerhalb ziemlich weiter Grenzen beliebig variirt werden konnte. Ueber die Mitte des Schlitzes wurde ein schwarzer Reif gelegt, dessen Breite gleichfalls beliebig variirbar war und im Mittel ca. $\frac{1}{2}$ cm betrug. Es wurde zum Theile mit farbigen Gläsern beobachtet, zum Theile ohne solche.

zeigt (im Folgenden „Kopf“ genannt), der heller als die seitliche Umgebung ist. (Genauerer siehe weiter unten); es folgt Phase 3 als ein blaugrüner Streif, der entsprechend der Unterbrechung des primären Bildes eine meist deutliche dunkle Lücke zeigt, die aber unter gewissen Versuchsbedingungen zum Theile von einem röthlichen Nachbilde eingenommen werden kann (s. u.). Phase 4 stellt sich als ein um sehr viel breiteres dunkles Intervall dar; entsprechend der Unterbrechung im primären Bilde tritt hier fast unmittelbar nach Abklingen der Phase 3 ein schmaler heller Streif auf, dessen Helligkeit zunächst eine nicht unbedeutende ist, nach rückwärts aber allmählich abnimmt, so daß er eine gewisse Aehnlichkeit mit einem Kometenschweife erhält. Seine Färbung ist im Allgemeinen zu jener des Reizlichtes complementär, doch trifft dies nicht in so ausgesprochener Weise zu, wie für die Phase 3. In der That unterscheidet sich dieser „Komet“ (wie wir der Kürze halber das fragliche inducirte oder Contrast-nachbild nennen wollen) in seiner Farbe meist merklich von jener der Phase 3. Er ist außerdem etwas weniger hell als diese Phase, seine Farbe weniger gesättigt. Bei gelbrothem Reizlicht fand ich den Kometen meist leicht gelblich grün, bei leuchtend rothem Reizlichte grünlich. Bei Benutzung der weniger gesättigten gelben und grünen Gläser war die Färbung des Kometen zu wenig ausgesprochen, um eine sichere Beurtheilung zu gestatten. Der Komet erscheint etwa 4—8 mal so lang als Phase 3. Indem seine Helligkeit beständig abnimmt, entwickelt sich aus ihm schließlich eine tiefdunkle Furche, die in etwas hellerer Umgebung sehr deutlich sichtbar ist; diese hellere Umgebung entspricht der Phase 5 auf den vom Reizlichte getroffenen Netzhautstellen. Mit abnehmender Helligkeit dieser Phase wird auch die mittlere Furche dauernd unsichtbar.

Dieser Komet und die ihm folgende Phase sind so leicht zu sehen, daß mehrere Laien, welchen ich den Versuch zeigte, sie sofort wahrnahmen. Etwas schwieriger ist die Beobachtung der dem Kometen vorausgehenden Phasen, die der Unterbrechung der leuchtenden Linie entsprechen. Bei passender Helligkeit und geeigneter Breite dieser Lücke sehe ich vor Auftreten des gegenfarbigen Kometen eine kurze, ziemlich helle Strecke von ähnlicher Färbung, wie das Reizlicht. Es ist schwer, genauer den Zeitpunkt des Auftretens dieses Nachbildes zu bestimmen. Es wird meist etwas früher sichtbar als

die Phase 3, so daß es zum Theil in dem der Phase 2 entsprechenden dunklen Intervall erscheint. Ob es von dem gegenfarbigen „Kometen“ regelmässig durch eine dunkle Strecke getrennt ist oder continuirlich in sie übergeht, konnte ich nicht immer sicher unterscheiden. Bei etwas höheren Lichtstärken schien ersteres, bei geringeren letzteres der Fall zu sein.

Bei sehr geringer Lichtstärke eines röthlichen Reizlichtes sehe ich anscheinend in unmittelbarem Anschlusse an die Phase 3 einen schwach dunkelrothen, ziemlich kurzen Schweif, der schon dicht bei der Lücke der Phase 3 sichtbar ist und ca. 2–3mal so lange dauert als diese Phase.

Das Wesentliche der ganzen Erscheinung besteht nach dem Geschilderten darin, daß eine von keinem Lichtreize getroffene Netzhautstelle etwa $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{2}$ Secunde nach Erregung benachbarter Stellen durch mässig helles Licht, eine Lichtempfindung von ansehnlicher Helligkeit und Dauer vermitteln kann.

Man kann die Unterbrechung der leuchtenden Linie so breit nehmen, daß bei geeigneter Bewegung derselben diese Unterbrechung den fovealen Bezirk annähernd oder vollständig deckt. Ich fixirte ein feinstes, schwach leuchtendes Pünktchen im Dunkelzimmer und bewegte in 25 cm Abstand die Lichtlinie, deren Unterbrechung 1 cm breit war, so am Auge vorüber, daß die Mitte der letzteren über das Fixirpünktchen glitt. Unter solchen Umständen wird foveale Netzhaut gar nicht oder höchstens nahe ihren äussersten (nasalen und temporalen) Grenzen vom Reizlichte getroffen: Trotzdem sind der gleichfarbige Kopf und der gegenfarbige Komet auch jetzt mit der fovealen Netzhaut deutlich und ohne Unterbrechung zu sehen.

Im Hinblick auf etwaige spätere theoretische Erörterungen hebe ich hervor, daß also auch der foveale Bezirk ohne selbst durch objectives Licht erregt zu sein, lediglich nach kurz dauernder Reizung der Umgebung ein helles, zum Reizlichte gegenfarbiges Nachbild von merklicher Dauer zu vermitteln vermag, das einen Bruchtheil einer Secunde nach der Reizung auftritt. Ebenso hat die Adaptation keinen wesentlichen Einfluß auf die Erscheinung, sofern selbstverständlich der gesteigerten Erregbarkeit des dunkeladaptirten Auges durch Verminderung der Lichtstärke des Reizlichtes Rechnung getragen ist. Die zur Erzeugung des fraglichen Nachbildes geeignetesten Lichtstärken

sind im Großen und Ganzen die gleichen — verhältnismäßig geringen — die zur Erzeugung einer deutlichen Phase 3 hinreichen. Während aber diese letztere bei zunehmender Lichtstärke oft weniger klar und deutlich wird, kann man den „Kometen“ auch dann noch in seiner charakteristischen Form sehen, wenn die Lichtstärke des Reizlichtes eine beträchtlichere geworden ist. Zur thunlichen Vermeidung von Mißverständnissen betone ich aber, daß er auch bei geringer Lichtstärke des Reizlichtes schon deutlich hervortritt. Am schönsten fand ich die Erscheinung, wenn die Unterbrechung der Glühlinie bei einem mittleren Abstände von 25—30 cm vom Auge ca. $1\frac{1}{2}$ cm breit war; doch sah ich sie einerseits noch bei einer Breite der Unterbrechung von nur 1—2 mm andererseits auch bei einer solchen von mehr als 1 cm.

Nach v. HELMHOLTZ sollen die hierher gehörigen Erscheinungen auf „Urtheilstäuschungen“ zurückzuführen sein und es giebt noch immer Anhänger dieser Erklärungsweise. Gerade für sie dürfte der vorstehend beschriebene Versuch besonders lehrreich sein, da wohl bei wenigen Erscheinungen jene psychologische Deutung so vollständig versagt, wie hier: Zu einer Zeit, wo, nach v. KRIES, der Erregungsvorgang bereits vollständig abgeklungen sein soll (s. d. folgenden Abschnitt) tritt an Sehfeldstellen, die überhaupt von keinem objectiven Lichtreize getroffen waren, eine Erregung auf, welche als lichter Streif in dunkler Umgebung zum Ausdrucke kommt.

Unter Berücksichtigung der Lehre von der Wechselwirkung der Sehfeldstellen (HERING, MACH) wird die eigenartige Erscheinung leicht verständlich.

II. Ueber die Nachbilder und die sogenannte v. KRIES'sche Theorie.

Im 25. Bande *dieser Zeitschrift* (S. 239) macht v. KRIES einige Bemerkungen über eine Arbeit von mir, die den Ablauf des Erregungsvorganges nach kurzdauernder Reizung des Sehorgans beim Normalen und beim total Farbenblinden zum Gegenstand hatte. (*Arch. f. Ophth.* 51 (2), 225.)

Da die v. KRIES'schen Bemerkungen dem mit meinen Arbeiten nicht Vertrauten ein vielfach unzutreffendes Bild der Sachlage geben und da meine in den letzten 7 Jahren über diesen Gegenstand veröffentlichten Abhandlungen alle in einer anderen Zeit-

schrift¹ erschienen sind, so halte ich es für nothwendig, auch dem Leser *dieser Zeitschrift* einen kurzen Ueberblick über die wichtigsten Punkte in dieser Frage zu geben.

Als „v. KRIES'sche Theorie“ sind in der letzten Zeit vielfach Anschauungen bezeichnet worden, welchen dieser Name in keiner Weise zukommt. Diese Theorie setzt sich aus 2 von einander unabhängigen und wohl zu sondernden Annahmen zusammen:

Die erste Annahme ist die, daß die Stäbchen die Empfindung farbloser Helligkeit vermitteln sollen und daß die Farbenempfindung nur durch die Zapfen vermittelt werde. Diese Annahme ist es insbesondere, die oft als „v. KRIES'sche“ bezeichnet wird. Sie ist wohl discutirbar, stammt aber nicht von v. KRIES, sondern wurde zuerst 1866 von MAX SCHULTZE aufgestellt, später wiederholt, so von KÜHNE und von HAAB, dann von PARINAUD (1881—84) in einer der v. KRIES'schen auffallend ähnlichen Form und grofsentheils auf Grund der gleichen Thatsachen wie später von v. KRIES eingehend erörtert und physiologisch zu begründen gesucht. (Die bezüglichen Angaben der genannten Forscher habe ich in der Einleitung zu meiner Arbeit „Experimentelle und kritische Untersuchungen über die Nachbilder rasch bewegter leuchtender Punkte“ (*Arch. f. Ophth.* 44, 3) zusammengestellt.)

Die zweite Annahme hat v. KRIES selbst zum Urheber. Nach ihr soll die Erregung in den Zapfen sich im Sinne der YOUNG-HELMHOLTZ'schen Theorie abspielen. Danach soll also unter Anderem die Empfindung Weißs auf 2 verschiedene Arten zu Stande kommen, es soll zweierlei Weißs geben, ein seiner Entstehung nach einfaches (wie es auch die Theorie der Gegenfarben annimmt) und ein in Gemäfsheit der YOUNG-HELMHOLTZ'schen Theorie entstehendes „trichromatisches“ Weißs. Die Unvereinbarkeit dieser v. KRIES'schen Hypothese mit einer Reihe wichtiger Thatsachen ist wiederholt betont worden; sie ergibt sich auch aus der Untersuchung der Nachbilder nach kurzdauernder Reizung des Sehorgans. Als „v. KRIES'sche Theorie“ schlechtweg ist im Folgenden nur diese letztere Annahme bezeichnet, während die erstere richtiger als MAX SCHULTZE'sche Theorie zu bezeichnen ist.

Seine Annahme sucht v. KRIES unter Anderem durch einige Beobachtungen zu stützen, die er bei Untersuchung der Nachbilder bewegter farbiger Lichter gemacht hatte.

¹ *Archiv f. Ophthalm.* 40 (2), 1894; 44 (3), 1897; 51 (2), 1900.

Wird eine farbige, nicht zu helle Lichtquelle am Auge vorübergeführt, so folgt der primären Erregung (Phase 1) ein kurzes dunkles Intervall (Phase 2), darauf eine complementär gefärbte helle Strecke (Phase 3), dann ein längeres dunkles Intervall (Phase 4), danach eine langdauernde helle, zur primären Erregung gleichfarbige Strecke (Phase 5) und darauf wieder ein längeres dunkles Intervall (Phase 6).

Ich hatte nun in meiner letzten Abhandlung den Nachweis geliefert, daß v. KRIES bei seinen Untersuchungen die ganzen, bei mäßiger Lichtstärke meist mehrere Secunden lang dauernden Phasen 4, 5 und 6 völlig übersehen hat. v. KRIES sucht dies zu bestreiten mit der Behauptung: „Die gesammten Erscheinungen, deren Uebersehen HESS mir vorwirft, sind unter den von mir eingehaltenen Beobachtungsbedingungen in der That nicht vorhanden.“ Indem v. KRIES dem Leser vorenthält, daß ich die Irrigkeit einer solchen Annahme schon in meiner letzten Abhandlung mit schlagenden Beweisen dargethan habe, nöthigt er mich, meine Widerlegungen zum Theil wenigstens eingehender zu erörtern:

Bei einem Theile der v. KRIES'schen Beobachtungen schloß sich die Versuchsanordnung „fast genau“ der von BIDWELL geübten an. Von einer runden Thüröffnung, die mittels einer elektrischen Bogenlampe mit weißem oder, durch Entwerfung eines reellen Spectrums, mit farbigem Lichte erleuchtet werden konnte, wurde auf einem weißen Schirme mittels Objectiv und Spiegel ein reelles Bild entworfen, das bei Rotation des Spiegels auf dem Schirme eine kreisförmige Bahn durchlief. Bei solcher Versuchsanordnung ist nach BIDWELL ein (der Phase 5 entsprechender) langer lichter Schweif sichtbar, der fast die ganze Bahn ausfüllt. Nun giebt v. KRIES aber ausdrücklich an, daß er „um die Farben von größerer Lichtstärke zu erhalten“ „in vielen Fällen auch farbige Gläser unter Verzicht auf die spectrale Zerlegung verwendet habe“. Da mit zunehmender Lichtstärke Dauer und Deutlichkeit der Phase 5 zunehmen, so geht schon hieraus mit Sicherheit hervor, daß v. KRIES die Phasen 4, 5 und 6 wirklich ganz übersehen hat. Seine vorher citirte Behauptung war um so unvorsichtiger, als jeder Anfänger sich leicht von ihrer Irrigkeit überzeugen kann, so z. B. mittels des folgenden, auf S. 242 und 243 meiner letzten Arbeit ausführlich geschilderten Versuches: Durch allmähliche Abschwächung der Lichtstärke des als Reizlicht-

dienenden Milchglasglühlämpchens mittels Rheostaten suchte ich die geringste zur Erzeugung einer deutlich sichtbaren Phase 3 nöthige Lichtstärke auf; bei sehr geringer Lichtstärke erscheint diese Phase 3 deutlich sichtbar, aber farblos. Ich konnte leicht feststellen, daß „selbst bei den geringsten für das Sichtbarwerden der dritten Phase eben hinreichenden Lichtstärken stets auch die drei folgenden Phasen sichtbar sind, und daß ihr Ablauf auch jetzt noch mehrere Secunden in Anspruch nimmt. Damit diese dritte Phase deutlich gegenfarbig gesehen werde, sind höhere Lichtstärken nöthig; dann sind aber die drei letzten Phasen beträchtlich länger sichtbar, sofern das Auge vor weiterem Lichteinfall geschützt wird.“ Diese letztere, eigentlich selbstverständliche Vorsichtsmaafsregel hat v. KRIES ganz aufser Acht gelassen, trotzdem ich ihn wiederholt auf deren Wichtigkeit aufmerksam gemacht habe. Denn er läßt die einzelnen Reize in Intervallen von 1,5—2 Secunden auf einander folgen; zudem sind Reiz- und Fixirlicht beständig sichtbar. Es ist wohl verständlich, daß v. KRIES die fraglichen 3 Phasen (4, 5 und 6) in Folge dieses Fehlers übersehen hat. Daß sie aber bei den von ihm im Allgemeinen benutzten Lichtstärken thatsächlich vorhanden waren, geht schon aus den oben erwähnten Versuchen schlagend hervor. (Daß eine qualitative Aenderung des Reizlichtes bei seiner Abschwächung für das Typische der Erscheinung bei den fraglichen Versuchen nicht in Betracht kommen kann, ist selbstverständlich, soll aber im Hinblick auf einen von v. KRIES erhobenen Einwand weiter unten eingehender dargethan werden).

Auch die folgende irrige Angabe von v. KRIES ist darauf zurückzuführen, daß er die fraglichen 3 Phasen ganz übersehen hat. Er schreibt: „Das günstige Stadium für die Beobachtung des Springens, für die Bestimmung der Farbe, für die Vergleichung der Stärke bei verschieden gefärbtem primären Bilde u. s. w. ist jenes, in dem das secundäre Bild noch kurz ist, höchstens wie es etwa die von mir gegebene Abbildung zeigt In diesen Fällen dauert also der ganze Effect der Reizung etwa $\frac{1}{2}$ Secunde oder noch weniger und nicht wie HESS für die von mir benutzten Lichter ausrechnet, 3—4 Secunden.“ Diese letzte Behauptung ist durchaus unrichtig. Selbst bei soⁿlichtschwachen Reizlichtern, bei welchen die Phase 3 nur ganz schwach und farblos gesehen wird, dauert „der ganze Effect der Reizung“ schon mehrere Secunden. Bei solcher Erscheinungsweise aber,

wie sie v. KRIES abgebildet hat, (wo die Phase 3 deutlich gegenfarbig erscheint), dauert dieser Effect meist noch mehrere Secunden länger. Die viel zu rasche Aufeinanderfolge der einzelnen Reize bei den v. KRIES'schen Versuchen macht also die Beobachtung des ganzen Verlaufes unmöglich. v. KRIES schreibt ferner: „Bezüglich der sonstigen, von H. erhobenen Einwände sei erwähnt, daß die Wiederholung der Reizung durch den rotirenden Apparat sicher nicht in der von ihm angenommenen Weise als Fehlerquelle zu betrachten ist; denn es versteht sich ja von selbst, daß man die Erscheinung auch sofort bei Fixirung der Marke nach zuvor abgewandtem Auge, also bei erstmaligem Vorübergang des Lichts beobachten kann.“ Auch dieser Irrtum erledigt sich durch das vorher Gesagte. v. KRIES kann bei der Wiederholung der Reizung die Phase 3 wohl wahrnehmen, nicht aber die 3 folgenden Phasen, die einen integrirenden Bestandtheil des ganzen Nachbildverlaufes bilden und unter keinen Umständen bei der theoretischen Betrachtung von den ersten Phasen getrennt werden dürfen.

Es ist unverständlich, wie v. KRIES immer wieder den Versuch machen kann, die Verschiedenheit unserer Versuchsergebnisse durch die Annahme der Benutzung zu hoher Lichtstärken meinerseits zu erklären, angesichts der Thatsache, daß ich durch systematische Abschwächung der Lichtstärke des Reizlichtes bis zu solchen Stadien gekommen bin, bei welchen die Phase 3 nicht mehr farbig, sondern farblos gesehen wird, während die v. KRIES'schen Angaben sich auf solche Stadien beziehen, in welchen die Phase 3 farbig erschien, wozu doch beträchtlich höhere Lichtstärken nöthig sind, als zu Erzeugung einer farblosen Phase 3. Einen thatsächlichen Irrthum enthält auch die folgende Behauptung von v. KRIES: „HESS hat aus der von SAMOJLOW gegebenen Beschreibung eines von ihm und überhaupt in meinem Institut benutzten Apparates geschlossen, daß ein Milchglas, aus einer Entfernung von ca. 50 cm durch 2 oder 3 Auerbrenner transparent beleuchtet eine für unsere Beobachtungen angemessene und von uns im Allgemeinen benutzte Lichtstärke darbiete.“ Meine Abhandlung giebt nirgends einen Anhalt für die Aufstellung einer solchen, nur aus sehr flüchtiger Lektüre zu erklärenden Behauptung; der aufmerksame Leser wird sich leicht von ihrer Irrigkeit überzeugen. v. KRIES scheint sich auf einen Versuch zu beziehen, den ich unter vielen anderen

angestellt habe, um zu sehen, wie bei den höchsten mit dem SAMOJLOFF'schen Apparate erhältlichen Lichtstärken die Nachbilder sich verhalten. Dafs ich ausführlich Versuchsreihen geschildert habe, bei welchen nur ein einziger Auerbrenner benutzt wurde, sowie solche, bei welchen farbige Gläser (mit Milchglas) mit 2 oder 3 Auerbrennern benutzt wurden, und dafs ich diese Versuche ausdrücklich als die wichtigeren bezeichnet habe, — das unterläfst v. KRIES anzuführen und giebt durch diese partielle Erwähnung meiner Beobachtungen dem Leser ein unzutreffendes Bild der Thatsachen. Nun konnte ich aber zeigen, dafs auch bei diesen geringeren Lichtstärken der Ablauf der Erregungsvorgänge 4—7 Secunden und mehr in Anspruch nimmt, sofern nur die Fehler der v. KRIES'schen Versuchsanordnung vermieden sind.

Dafs v. KRIES auch bei den Versuchen mit adaptirtem Auge vermuthlich verhältnismäfsig höhere Lichtstärken angewendet hat, als ich, geht u. A. daraus hervor, dafs er auf die gesteigerte Lichtempfindlichkeit des dunkeladaptirten Auges Rücksicht zu nehmen nicht für nöthig gefunden hat, während ich diesem Umstande selbstverständlich stets Rechnung getragen habe.

v. KRIES hatte angegeben, dafs die Phase 3 auf der Fovea fehle und hatte dies — auffälligerweise — mit seiner Hypothese in Einklang gefunden. Bei Vermeidung der Fehlerquellen der v. KRIES'schen Versuchsanordnung konnte ich mich von dem angeblichen Ausfalle jener Phase im fovealen Bezirke nicht überzeugen. v. KRIES übt nun an verschiedenen der von mir angegebenen Versuchsanordnungen Kritik, ohne diese einer Nachprüfung unterworfen zu haben. Wenn er sich der kleinen Mühe unterzogen hätte, die einfachsten meiner Versuche zu wiederholen, so würde er es z. B. nicht „für zweifelhaft halten“ können, dafs es möglich ist, „die selbst nicht sichtbare Mitte“ zwischen zwei leuchtenden Fixirzeichen „mit genügender Sicherheit zu fixiren, zumal wenn ein relativ helles Object im Gesichtsfeld bewegt wird“. Etwas eingehender mufs ich den folgenden Einwand besprechen: v. KRIES sagt: „Für empfehlenswerth kann ich auch die von HESS versuchte Methode nicht halten, eine längere Lichtlinie als Object zu benutzen, deren mittleres Stück über die Fovea läuft und nun zu sehen, ob im Nachbild die Linie unterbrochen erscheint. Es ist doch klar, dafs man hier mit all den bekannten Schwierigkeiten zu rechnen hat, die der

subjectiven Wahrnehmung eines kleinen Scotoms immer entgegenstehen. Wenn man eine Lichtstärke herstellt, die central nicht gesehen wird, bei der man also ein kleines Object zum centralen Verschwinden bringen kann, und dann eine gröfsere Fläche von derselben Helligkeit betrachtet, so weifs man, wie schwer es ist, die centrale Lücke sicher wahrzunehmen. Es gelingt wohl, wie HESS selbst angiebt, im ersten Moment der Beobachtung; aber selbst diese Beobachtung erfordert schon grofse Aufmerksamkeit und eine gewisse Uebung. Was will es also besagen, wenn man die centrale Unterbrechung eines Nachbildes nicht constatiren kann.“

Gegen diese Argumentirung ist eine Reihe von Einwänden zu erheben. Zunächst erscheint es unzulässig, die Verhältnisse bei Beobachtung einer hellen Fläche ohne Weiteres auf jene bei Beobachtung einer Lichtlinie zu übertragen. Ein einfacher Versuch zeigt ferner, dafs eine noch viel kleinere Unterbrechung der Nachbildlinie, als dem fovealen Bezirke entsprechen würde, deutlich und leicht wahrnehmbar ist.

Ich schiebe über die Mitte der zur Reizung benutzten leuchtenden Linie (s. die vorhergehende Abhandlung) einen mattschwarzen Ring von 5 mm Breite. Bewege ich nun die Lichtlinie in $\frac{3}{4}$ —1 m Abstand vor dem Auge vorbei, so fällt im Vorwie im Nachbilde die betreffende Strecke aus; dieser Ausfall ist als deutliche Unterbrechung der Nachbildlinie auffällig sichtbar. Nun beträgt nach den früheren Angaben von v. KRIES der horizontale Durchmesser des dem stäbchenfreien Netzhautbezirke entsprechenden Gesichtsfeldbezirkes, auf 1 m Abstand projicirt, 35—38 mm für das Auge eines seiner Schüler, 55 mm für sein eigenes Auge. Nehmen wir nur 36 mm für diesen Durchmesser an, so müfste bei den fraglichen Versuchen (wenn die Linie z. B. von oben nach unten am Auge vorübergeführt wird) die foveale dunkle Unterbrechung der Nachbildlinie mehr als 5-, bzw. 7 mal länger sein als jene bei Benutzung des Ringes von 5 mm Breite; da im letzteren Falle die Nachbildunterbrechung noch mit voller Deutlichkeit sichtbar ist, wird man nicht wohl einwenden können, es sei zu schwer, die 5—7 mal längere Unterbrechung im ersteren Falle wahrzunehmen. Noch überzeugender ist der folgende Versuch: Wenn man einen Draht von weniger als $\frac{1}{2}$ mm Durchmesser über den leuchtenden Schlitz legt, so sieht man selbst jetzt bei Bewegung des Rohres an der dem Drahte entsprechen-

den Stelle des Nachbildes deutlich eine dunkle Unterbrechung; man kann die Lichtstärke des Reizlichtes so wählen, daß die Unterbrechung der Vorbildlinie durch den Draht in Folge der Irradiation kaum oder gar nicht bemerkt wird; so ist dem etwaigen Einwande vorgebeugt, daß die sichtbare Unterbrechung des Vorbildes die Sichtbarkeit jener des Nachbildes erleichtern könne. Im Nachbilde ist bei diesem Versuche die Unterbrechung deutlich sichtbar und doch ist ihr Durchmesser kaum den siebzigsten Theil so groß als die angebliche, dem fovealen Bezirke entsprechende Unterbrechung, von der v. KRIES meint, daß sie bei diesen Versuchen zu leicht übersehen werden könne!

Ferner läßt v. KRIES außer Acht, daß bei meinen Versuchen die Beobachtung des fovealen Theiles der Nachbildlinie leicht und sicher genug ist, um in vielen Fällen festzustellen, daß das foveale Nachbild eine kurze Zeit später auftritt, als das extrafoveale, was sich in einer entsprechenden schwachen Einbuchtung der vorderen Grenzlinie des fovealen Nachbildtheiles kund giebt. Solche Erscheinungen kann man doch wohl nur wahrnehmen, wenn der fragliche Nachbildtheil wirklich sichtbar ist.

Endlich möge mir v. KRIES gestatten, darauf aufmerksam zu machen, daß er selbst das jetzt von ihm so scharf verurtheilte Princip der bewegten Lichtlinie empfohlen hat, um die von ihm behauptete foveale Unterbrechung des Nachbildes nachzuweisen, und dies sogar in einem Falle, wo die Wahrnehmung der Erscheinung schwieriger ist als gewöhnlich. Er schreibt im XII. Bande *dieser Zeitschr.* S. 93, bei Besprechung der mit stark dunkeladaptirtem Auge wahrnehmbaren Erscheinungen: „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 vortheilhaftesten, dem laufenden Lichtbilde die Gestalt eines Streifens zu geben¹, der z. B. horizontal liegt und den Fixationspunkt vertical aufsteigend passirt. Ueberdies hält man zweckmäsig 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,

¹ Bei v. KRIES nicht gesperrt gedruckt.

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 continuirlich.“

v. KRIES hat hier den (bei dem Principe der leuchtenden Linie besonders leicht zu vermeidenden) Fehler begangen, einen leuchtenden Fixirpunkt zu benutzen und sich die Beobachtung durch den vorgeschobenen Schirm unnöthig erschwert. Trotzdem hat ihm die Methode gute Dienste geleistet. Wir begegnen also der bemerkenswerthen Thatsache, dafs v. KRIES ein Untersuchungsprincip als besonders vortheilhaft empfiehlt, wenn die damit gewonnenen Ergebnisse seine Anschauungen zu stützen scheinen, dafs er aber dieses Princip scharf verurtheilt, wenn damit Ergebnisse erzielt werden, die seinen Ansichten nicht entsprechen.

Man kann gegen das Gesagte nicht einwenden, dafs die Einzelheiten des Versuches bei v. KRIES etwas andere waren als bei mir. Die Benutzung eines Schirmes sowohl, wie die eines Fixirpunktes machen die Beobachtung nur schwieriger. Denn wenn der blaue Streifen erst dicht am Fixationspunkte hinter dem Schirme auftaucht, so kann ein mehr oder minder grosser Theil des fovealen Bezirkes durch den Schirm ausgeschaltet sein, ein eventueller Ausfall des Nachbildes also immer in kleinerer Ausdehnung statthaben, als ohne Schirm. Ein leuchtender Fixirpunkt ist auch hier durchaus zu verwerfen, da der foveale Bezirk dadurch ermüdet wird und da die dauernde Sichtbarkeit dieses Lichtpunktes die Wahrnehmung des fovealen Nachbildes stören mufs. Der Vorzug der Beobachtung mit bewegter Lichtlinie ist ja eben, dafs ein Fixirpunkt ganz überflüssig ist. Dafs die hier von v. KRIES erwähnten blauen Lichter wegen der macularen Absorption für diese Versuche vorzugsweise ungeeignet sind, sei nur beiläufig erwähnt.

v. KRIES erhebt gegen die von mir angegebenen Methoden noch den folgenden sonderbaren Einwand: „Insbesondere ist die Regulirung der Lichtstärke durch Rheostaten ein äufserst bedenkliches Verfahren, weil man stets mit der Stärke des Lichtes auch seine Qualität resp. Zusammensetzung in erheblichem Maafse ändert . . . Ohne Anwendung von Rauchgläsern u. dergl. ist in der That die Glühlampe, wie es scheint, zu diesen Beobachtungen ganz vorzugsweise ungeeignet, weil bei der Abschwächung des Glühens das Licht roth wird; es ist wohl denkbar, dafs ein für die Beobachtungen qualitativ und quantitativ geeignetes Licht auf keinem Punkte der Glühstärke erreicht wird.“ Es ist unverständlich, was dieser Einwand soll:

Die fragliche Versuchsanordnung erfüllt ihren Zweck vollständig, sobald sie die Phase 3 deutlich zur Anschauung bringt. Eine Abschwächung und damit verbundene Aenderung der Zusammensetzung des Reizlichtes kann doch höchstens eine Aenderung in der Farbe oder bei genügender Abschwächung ein Farblos- oder völliges Unsichtbarwerden der 3. Phase zur Folge haben.

Solange man die Phase 3 auf ihre Farbe, ihr Verhalten im fovealen Bezirke oder bei Dunkeladaptation untersucht, wird man selbstverständlich nicht das Reizlicht bis zum Unsichtbarwerden der Phase abschwächen. Solange sie aber sichtbar ist, kommt die Qualitätsänderung des Reizlichtes, insoferne durch sie nur die Farbe der dritten Phase geändert wird, für unsere Erörterungen gar nicht in Betracht; v. KRIES hat bisher nichts darüber angegeben, daß die Phase 3 bei verschiedener Färbung derselben sich auf der Fovea, im adaptirten Auge etc. verschieden verhalte, solange sie überhaupt sichtbar ist. (Das von mir benutzte Licht war auch bei der äußersten Abschwächung, die ich anwandte, noch deutlich gelbroth; die brechbareren Strahlen waren also stets in für unsere Zwecke zureichendem Maasse vorhanden.)

Dieser v. KRIES'sche Angriff, dessen Unhaltbarkeit durch das Gesagte schon genügend dargethan ist, muß um so seltener erscheinen, wenn man sich erinnert, daß v. KRIES selbst bei seinen Versuchen zur Abschwächung des Reizlichtes Rauchgläser etc. benutzt. Sollte es ihm wirklich ganz unbekannt sein, daß die gebräuchlichen Rauchgläser keineswegs nur auf die Quantität einer Lichtquelle von Einfluß sind, sondern im Allgemeinen auch die Qualität merklich verändern? Der spectroscopische Vergleich einer beliebigen Lichtquelle bei directer Betrachtung und bei Betrachtung durch einige rauchgraue Gläser genügt zum Nachweise dieser übrigens wohl allgemein bekannten Thatsache. Was also der Einwand gegen die von mir benutzte Methode der Abschwächung des Reizlichtes soll, ist nicht einzusehen.

Es ist einleuchtend, daß für systematische Versuche die Methode der allmählichen Abschwächung des Reizlichtes in jeder Hinsicht den Vorzug verdient vor der v. KRIES'schen Abschwächung mittels Rauchgläsern; denn die letzteren gestatten doch immer nur eine eng begrenzte Zahl von Abstufungen der Lichtstärken.

Ueber den Einfluß der Adaptation auf die fraglichen Nachbilderscheinungen finden wir bei v. KRIES dreierlei mit einander in Widerspruch stehende Angaben: In seinen ersten Aufsätzen gab er an, daß das fragliche Nachbild (Phase 3) „bei dunkeladaptirtem Auge bei Weitem am schönsten zu sehen sei“. In den folgenden Aufsätzen hieß es im Gegentheil, daß „die schönste und eleganteste Erscheinungsweise bei hell- oder schwach dunkeladaptirtem Auge gesehen werde“, ja daß durch lange Dunkeladaptation die Phase 3 „wirklich fortfällt“. Nachdem ich die Unrichtigkeit dieser letzteren Angaben in einer besonderen Untersuchungsreihe mit langdauernder Dunkeladaptation nachgewiesen hatte, wurde der fragliche Punkt, obschon ihn v. KRIES früher als „besonders wichtig“ bezeichnet hatte, in einer gegen meine Untersuchungen gerichteten Abhandlung eines v. KRIES'schen Schülers (SAMOILOFF) vollständig mit Stillschweigen übergangen. In seiner letzten Arbeit wiederum macht v. KRIES über den Einfluß der Adaptation folgende Angaben:

„Das secundäre Bild (sc. Phase 3), welches ca. $\frac{1}{5}$ Sec. nach dem primären beginnt, zeigt eine mit zunehmender Dunkeladaptation beständig zunehmende Länge, ist aber zuerst ganz kurz, um sich erst allmählich in einen längeren und längeren Schweif auszuziehen. Von der Lichtstärke hängt es ab, ob das secundäre Bild sogleich nach Verdunkelung des Beobachtungsraumes sichtbar ist oder erst nach kürzerem oder längerem Dunkelaufenthalt sichtbar wird. Nach längerer Adaptation ist der Schweif so lang, daß die ganze Peripherie mit einem Lichtnebel erfüllt erscheint.“

Nach diesen so verschiedenen Angaben kann kein Leser sich ein Bild davon machen, welches nun eigentlich v. KRIES' Ansicht über den Einfluß der Adaptation ist, noch viel weniger von den Thatsachen selbst. Es ist daher vielleicht nicht überflüssig, wenn ich betone, daß der Typus des Verlaufes der Nachbilder bei allen Graden von Dunkeladaptation der gleiche ist, wie im helladaptirten Auge, sofern nur der gesteigerten Lichtempfindlichkeit des dunkeladaptirten Auges durch entsprechende Minderung der Lichtstärke des Reizlichtes Rechnung getragen ist. Auch diese Vorsichtsmaafsregel hat v. KRIES außer Acht gelassen; ich muß es dahingestellt sein lassen, ob hierauf seine von den meinigen abweichenden Angaben bezogen werden können. Jedenfalls kann man oft beobachten, daß bei einer für das helladaptirte

Auge passenden Lichtstärke des Reizlichtes das gut dunkeladaptirte die Phase 3 nicht mehr deutlich wahrnimmt, daß aber dann eine entsprechende Verminderung dieser Lichtstärke genügt, um die fragliche Phase wieder mit voller Deutlichkeit hervortreten zu lassen. Auch die Angabe, daß „nach längerer Adaptation der Schweif so lang sei, daß die ganze Peripherie von einem Lichtnebel erfüllt erscheint“ beweist, daß v. KRIES hier zu hohe Lichtstärken benutzt hat, jedenfalls viel höhere als ich bei meinen Versuchen mit adaptirtem Auge. Denn wenn man der gesteigerten Lichtempfindlichkeit entsprechend die Lichtstärke des Reizlichtes mindert, so erscheint auch nach vielstündiger Dunkeladaptation die Form der Phase 3 im Wesentlichen genau so, wie dem helladaptirten Auge bei gleicher Geschwindigkeit der Bewegung, nicht aber in einen langen Schweif ausgezogen. Die Dauer der Sichtbarkeit dieser Phase übertrifft auch im adaptirten Auge jene der Sichtbarkeit des Vorbildes nur wenig.

Endlich hatte ich in meiner Arbeit den Nachweis geliefert, daß die v. KRIES'schen Beobachtungen, selbst wenn sie richtig wären, nicht als Stütze für die von ihm gemachte Annahme aufgeführt werden könnten, wonach sich die Erregung in den Zapfen in Gemäßheit der YOUNG-HELMHOLTZ'schen Theorie abspielen soll und daß die Erklärung in einer anderen als der von v. KRIES gewollten Richtung gesucht werden müsse. Als Beispiel führte ich (unter eingehender Begründung) an, nach seiner Theorie wäre zu erwarten, daß die Phase 3 im fovealen, stäbchenfreien Bezirke nicht ausfiel, sondern daß hier eine sehr gesättigte farbige Strecke, dunkler als die Umgebung, sichtbar werden müßte und daß ein Gleiches, aus anderen Gründen, für das dunkeladaptirte Auge zu vermuthen wäre.

v. KRIES faßt in seiner Entgegnung seine Ansicht noch einmal dahin zusammen, „daß eine eigenartige Function nachgewiesen werden kann, hinsichtlich deren auch bei schwach oder gar nicht dunkeladaptirtem Auge die Reizwerthe der verschiedenen Lichter sich wie die Dämmerungswerthe verhalten und daß diese Function in einem centralen Bereich fehlt . . . Ueber ihre (sc. dieser Constatirung) theoretische Bedeutung weiter zu streiten, dürfte kaum von Nutzen sein.“

Ich bedauere auch hier einen von dem v. KRIES'schen durchaus verschiedenen Standpunkt einnehmen zu müssen. Solange

man eine Theorie vertritt, sollte man, wie mir scheint, auch bemüht sein, auffällige Widersprüche zwischen dieser und einer Reihe fundamentaler, leicht zu constatirenden Thatsachen zu erklären, wenn letztere ursprünglich zur Stütze der Theorie herangezogen worden waren. Denn wer auf eine Lösung solcher Widersprüche verzichtet, kann leicht in den Verdacht kommen, eine befriedigende Erklärung der Thatsachen nicht geben zu können.

Die Hypothese, die von KRIES vertheidigt, stellt insofern eine wesentliche Annäherung an die von HERING seit langer Zeit vertretenen Anschauungen dar, als sie eine von der farbigen mehr oder weniger unabhängige farblose Empfindungsreihe annimmt. In seinen ersten Abhandlungen machte v. KRIES diese Annahme nur für die extrafoveale Netzhaut, später, auf die von HERING, TSCHERMAK, mir u. A. gemachten Einwendungen hin, hat er die Möglichkeit einer solchen von der farbigen mehr oder weniger unabhängigen farblosen Empfindungsreihe auch für den fovealen Bezirk zugegeben, wo der „Dunkelapparat“ „nur in äußerst reducirtem Maasse“ vorhanden sein soll. v. KRIES nimmt also hier nur noch quantitative Unterschiede zwischen fovealem und extrafovealem Gebiete an. In seiner letzten Abhandlung aber spricht er wieder von dem „Fehlen“ der fraglichen Function in einem centralen Bereich. Es ist also auch hier schwer zu ersehen, welches eigentlich die v. KRIES'sche Ansicht ist; für die Theorie ist dies insofern gleichgültig, als die Thatsachen mit der einen wie mit der anderen Fassung der Hypothese in Widerspruch stehen.

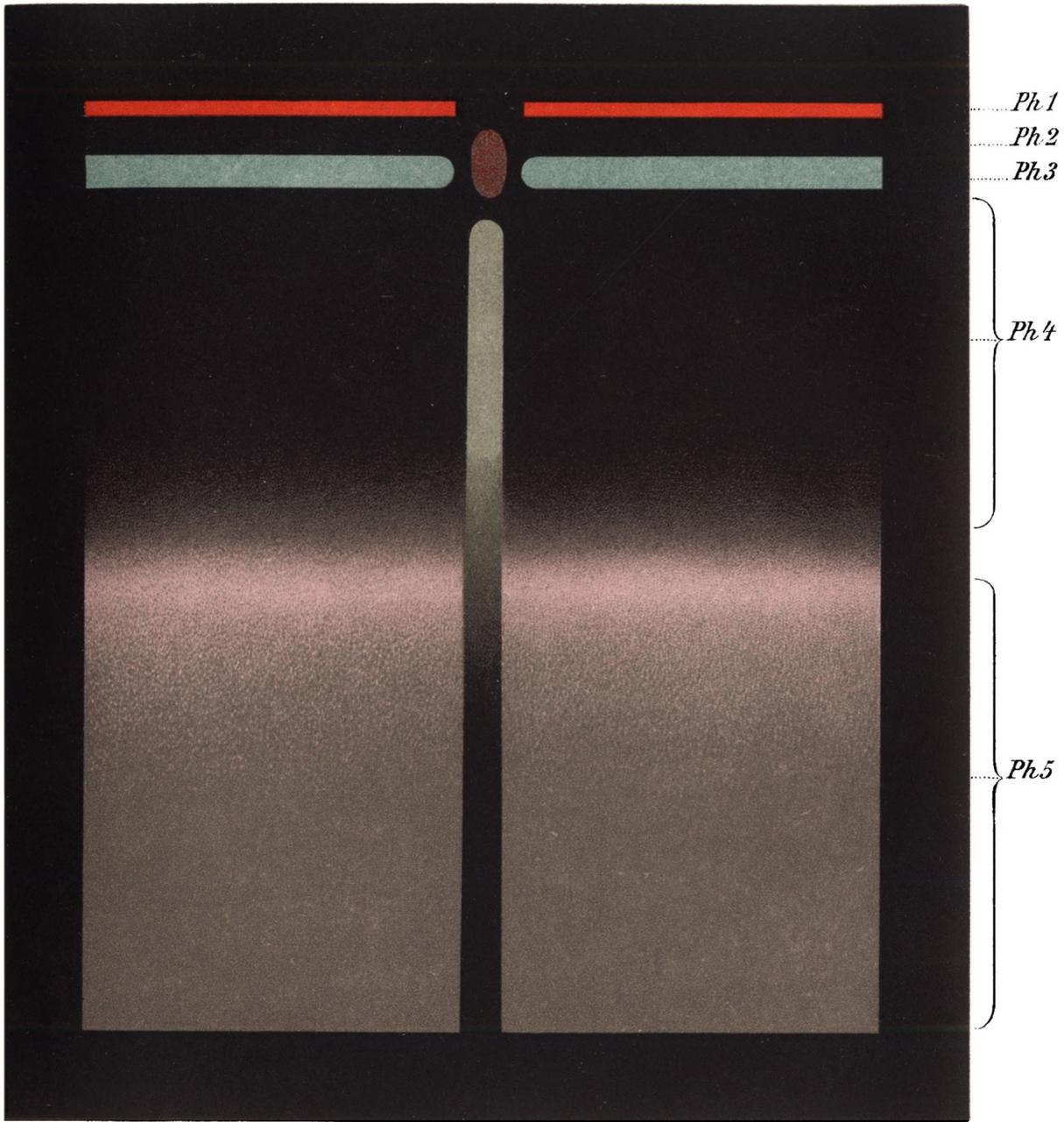
Aus meinen Beobachtungen geht hervor, daß v. KRIES in Folge der mehrerwähnten Fehler seiner Untersuchungsmethoden die drei der Zeit nach längsten Phasen des nach kurzdauernder Reizung des Sehorgans wahrnehmbaren Nachbildverlaufes ganz übersehen hat, die einen integrirenden Bestandtheil des Phänomens bilden, bei den von ihm in der Regel benutzten Lichtstärken stets vorhanden und bei richtiger Versuchsanordnung leicht wahrnehmbar sind; ferner, daß seine Angaben über das Fehlen der Phase 3 im fovealen Gebiete und bei längerer Dunkeladaptation den Thatsachen nicht entsprechen. Weiter zeigte sich, daß die fraglichen von mir mitgetheilten Thatsachen und Beobachtungen an Normalen wie an total Farbenblinden

in Widerspruch stehen mit der v. KRIES'schen Hypothese sowohl in deren älterer, wie in der neueren Fassung, insoweit diese Hypothese neu und v. KRIES eigenthümlich ist.

Erklärung der Abbildung.

In der Figur habe ich versucht, eine annähernde Vorstellung der vorstehend geschilderten Erscheinungen zu geben, wie sie bei mäßiger Lichtstärke des Reizlichtes wahrnehmbar sind. Der mit solchen Versuchen Vertraute weiß, wie schwierig es ist, eine so flüchtige Erscheinung naturgetreu wiederzugeben; ich betone daher ausdrücklich, daß die Abbildung vorwiegend zu dem Zwecke angefertigt wurde, das Verständniss der Beschreibung zu erleichtern und für Nachprüfungen einen Anhaltspunkt zu geben. Ich habe von den Nachbildern des bewegten gelbrothen Objectes nur die ersten 5 Phasen wiedergegeben; der Phase 5 folgt an den von objectivem Lichte getroffenen Stellen stets (auch bei sehr geringen Lichtstärken des Reizlichtes) eine 6. Phase als sehr dunkles Band in weniger dunkler Umgebung, das meist mehrere Secunden lang sichtbar, und ebenso wie Phase 4 und 5 von v. KRIES ganz übersehen worden ist.

(Eingegangen am 15. Juni 1901.)



C. Hess.

Lith. C. Kirst & Co Leipzig.

