Ueber den Ablauf des Erregungsvorganges nach kurz- dauernder Reizung des Sehorgans beim Normalen und beim total Farbenblinden.

Von

Prof. C. Hess
in Würzburg.

I. Die v. Kries'sche Deutung der von ihm beschriebenen Nachbilderscheinungen.

In einer Reihe von Arbeiten aus den letzten Jahren hat v. Kries über die Functionen der Stäbchen und Zapfen eine zum Theil neue, zum Theil an die bekannte Lehre von M. Schultze sich anlehrende Anschauung vertreten, deren wesentlichste Punkte die folgenden sind:

1. Wir sollen neben dem peripher durch die Zapfen repräsentirten „trichromatischen“ Sehapparat einen peripher durch die Stäbchen repräsentirten „monochromatischen“, nur farblose Helligkeitsempfindung liefernden Apparat besitzen, welcher letztere als lichtempfindliche Substanz den Sehpurpur führt und in seiner Function durch Verbrauch und Ansammlung dieses Körpers beeinflusst wird. Unser Sehen bei hellem Lichte soll überwiegend (wenigstens in den centralen Theilen der Netzhaut) auf der Function der Zapfen, dasjenige bei sehr geringem Lichte und im dunkeladaptirten Zustande lediglich auf der Function der Stäbchen beruhen.

2. Nach dieser Annahme soll also „die Empfindung des Weissen oder einer farblosen Helligkeit im Allgemeinen auf zwei verschiedene Weisen hervorgerufen werden können, nämlich erstens durch beliebige Erregung der Stäbchen, zweitens durch Reizung des trichromatischen Zapfenapparates mittels bestimmter Lichtgemische“.

Nachdem durch Tschermak, Hering und mich u. A. eine Reihe von Thatsachen bekannt geworden war, die jener Auffassung widersprachen, hat v. Kries den ersten Theil seiner Hypothese im Wesentlichen aufgegeben: Früher hielt er (v. Graefe's Arch. f. Ophthalm.

XLII. 3. S. 113) „die Thatsachen mit dem vollkommenen¹⁾ Fehlen eines Dunkelapparates im Centrum durchaus im Einklang“, und sagt an anderer Stelle, es liessen sich die (dort erörterten) Thatsachen kurz etwa dahin zusammenfassen, dass die den Stäbchen eigenthümliche Function auf einem Bezirke von einigen 30 mm Durchmesser (auf 1 m Abstand projicirt gedacht) ganz¹⁾ fehle; jetzt aber giebt er zu, dass die Thatsachen, auf die er ursprünglich die Theorie stützte, „ein absolutes Fehlen des Dunkelapparates nicht streng beweisen, sondern sich auch als eine vollkommenem Fehlen sich nur annähernde Reduction auffassen lassen“²⁾. Weiter sagt er dort: „Mir scheint nach alledem die Hoffnung berechtigt, dass zunächst einmal insofern eine Uebereinstimmung der Autoren sich herausstellen wird, als die Existenz eines besonderen Dunkelapparates für wahrscheinlich erachtet wird, bezüglich dessen localer Verbreitung jedenfalls das sicher wäre, dass er im Centrum nur in äusserst reducirter Masse vorhanden ist.“ An Stelle der früher von ihm angenommenen grundsätzlichen Verschiedenheit der Erregung finden wir also jetzt nur noch die Annahme einer quantitativen Differenz zwischen Centrum und Peripherie der Netzhaut; quantitative Differenzen sind aber seit mehr als 100 Jahren (Arago) bekannt und wohl von Niemandem ernstlich ganz in Abrede gestellt worden.

Während v. Kries früher Stäbchen und Dunkelapparat identificirte, giebt er jetzt an, er habe damit in dieser Richtung eine Entscheidung nicht treffen wollen und ist „der Vorstellung nicht abgeneigt“, dass Spuren des Dunkelapparates ausserhalb der Stäbchen vorkommen und ins stäbchenfreie Gebiet eindringen könnten. Indem v. Kries jetzt nicht nur für den extrafovealen Theil, sondern für die ganze Netzhaut die Möglichkeit einer von der farbigen mehr oder minder unabhängigen farblosen Empfindungsreihe zugiebt, hat er sich den von Hering seit lange vertretenen Anschauungen abermals einen Schritt genähert.

Dagegen hält v. Kries an dem zweiten Theile seiner Hypothese noch fest, nach welcher die Empfindung farbloser Helligkeit auf zwei ganz verschiedene Weisen hervorgerufen werden könne und die durch die Zapfen vermittelten Erregungsvorgänge sich nach der Young-Helmholtz'schen Theorie abspielen sollen.

¹⁾ Bei v. Kries nicht gesperrt gedruckt.

²⁾ v. Kries, Kritische Bemerkungen zur Farbentheorie. Zeitschr. f. Physiol. u. Psychol. d. Sinnesorgane. Bd. XIX. S. 189.

Unter den Hauptstützen für seine Ansicht führt v. Kries einige von ihm untersuchte Nachbilderscheinungen an: Nach kurzdauernder Reizung des Sehorgans mittels eines farbigen, bewegten, leuchtenden Punktes ist bekanntlich bei passender Versuchsanordnung nach dem Abklingen der primären Erregung eine kurze, zum Reizlichte complementär gefärbte Phase sichtbar, die heller ist als die Umgebung. Zur Erklärung dieser Phase nahm v. Kries an, dass „das von den Stäbchen herrührende positive Nachbild mit dem negativ-complementären der Zapfen verschmilzt“, und erläuterte dies später dahin, er habe damit in möglichst allgemeiner Weise andeuten wollen, „dass der Empfindungseffect als ein combinirtes Ergebniss beider Thätigkeiten aufzufassen ist“. Er meint u. A.: „Mit dem, was wir sonst wissen, wird es im Einklang sein, dass in dem trichromatischen Apparat alsbald nach Beendigung des farbigen Lichtreizes ein negativ-complementäres Nachbild entsteht.“

Zur Stütze seiner Theorie führt v. Kries unter Anderem an, dass diese gegenfarbig positive Nachbildstrecke 1. im fovealen Bezirke fehle, 2. bei Anwendung eines rothen Reizlichtes fehle, 3. bei langer Dunkeladaptation fortfalle. Nach den oben angeführten v. Kries'schen Sätzen wäre nun aber zu erwarten: 1. dass im fovealen, stäbchenfreien Gebiete an Stelle des hellen nachlaufenden Bildes eine sehr gesättigt farbige Strecke, dunkler als die Umgebung, sichtbar wäre. Hält v. Kries es doch für denkbar, dass das für kurze Zeit „sehr starke negative Nachbild des trichromatischen Apparates den Stäbcheneffect erst nach einer gewissen Zeit zur Geltung kommen liesse“. Es ist schwer verständlich, wie ein farbiges Nachbild unsichtbar und zugleich so stark sein kann, dass es ein farbloses Nachbild nicht zur Geltung kommen lässt. Bei rothem Lichte, das nicht auf die Stäbchen wirken soll, wäre zu erwarten, dass jenes „sehr starke negative Nachbild des trichromatischen Apparates“ auch auf der extrafovealen Netzhaut ganz besonders gesättigt hervorträte.

Das Gleiche wäre aus anderen Gründen für das dunkel adaptirte Auge zu vermuthen: Denn die „stark verzögerte“ (s. f. S.) Stäbchenerregung fällt nach v. Kries bei langer Dunkeladaptation weg; der Dunkelapparat aber soll einen im Vergleiche zu den Zapfen besonders hohen Grad von Adaptationsfähigkeit besitzen, die Zapfen also sollen sich jedenfalls relativ viel weniger adaptiren. Danach wäre zu erwarten, dass dann ein negatives, complementär gefärbtes Nachbild in besonders stark gesättigter Farbe gesehen würde, da die gleichzeitige Empfindung farbloser Helligkeit wegfällt.

Die angeführten v. Kries'schen Beobachtungen würden somit, auch wenn sie richtig wären, nicht als Stütze für seine Theorie auf-

geführt werden können, und die Erklärung müsste in einer anderen als der von v. Kries gewollten Richtung gesucht werden. Es bedarf keines besonderen Beweises, dass sie mit der modificirten v. Kries'schen Theorie ebenso wenig vereinbar sind, wie mit der früheren.

Für den total Farbenblinden, der nach v. Kries nur mit Stäbchen ausgerüstet sein soll, wäre zu erwarten, dass hier das fragliche nachlaufende Bild sich in der schönsten Weise zeigte. Nun findet v. Kries aber, dass es dort vollkommen fehle. Diesem Widerspruch sucht er mit den folgenden Worten zu begegnen: „Fehlt aber die recurrent vision wirklich bei dem nur mit Stäbchen ausgerüsteten Sehapparate des total Farbenblinden, ebenso wie an der nur Zapfen führenden Fovea des Normalsehenden, so bleibt in der That kaum etwas Anderes übrig, als die Erscheinung auf irgend ein Zusammenwirken beider Apparate zurückzuführen.“ Durch den weiter unten zu führenden Nachweis, dass total Farbenblinde die Nachbilderscheinungen im Allgemeinen (abgesehen von den Farben) ganz ebenso sehen wie wir, ist auch diese Ueberlegung gegenstandslos geworden.

v. Kries glaubt den Stäbchen die Fähigkeit zuschreiben zu müssen, „bei momentaner Reizung zwei zeitlich aus einander fallende Empfindungseffekte zu liefern“, eine wenig und eine stark verzögerte Weissempfindung (*Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorgane*. Bd. XII. S. 98). Eine Vorstellung, welcher er auch neuerdings nicht abgeneigt ist, hat er in der Frage ausgesprochen: „Beruht vielleicht die wenig verzögerte Weissempfindung auf der directen Erregung der Stäbchen mittels 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?“ Um eine solche Annahme mit der behaupteten Abhängigkeit der Erscheinungen vom Adaptationszustande des Auges, insbesondere mit dem angeblichen Wegfall des fraglichen Nachbildes bei langer Dunkeladaptation in Einklang zu bringen, erörtert er unter Anderem die folgende Möglichkeit: „Denkt man sich, dass die Bildung des Sehpurpurs, die secretorische Thätigkeit des Pigmentepithels durch die Belichtung des Auges angeregt wird, so begreift man, dass, wenn das Auge verdunkelt wird, der Vorrath dieses Körpers zunächst, wegen der fortfallenden Zerstörung bei noch lebhafter Bildung, anwächst, allmählich aber bei nachlassender Thätigkeit der secernirenden Elemente wieder mehr und mehr abnimmt.“

Wollte man die v. Kries'schen Beobachtungen auf diese Weise erklären, so müsste man annehmen, dass nach zwei- oder mehrstündiger Dunkeladaptation wesentlich weniger Sehpurpur in der Netzhaut vorhanden wäre, als wenige Secunden nach längerem Aufenthalt im Hellen. Denn v. Kries sagt ausdrücklich, dass, nachdem die Augen dem vollen Tageslicht, „nahe am Fenster“, ausgesetzt waren, das nachlaufende Bild „wenige Secunden“ nach der Verdunkelung sofort gesehen wird, „wenn das angewandte Licht sehr hell ist“. Eine solche Annahme steht aber mit Allem,

was wir über den Sehpurpur wissen, so sehr in Widerspruch, dass wir auf ihre Erörterung wohl verzichten dürfen. Ich citire hier nur eine Angabe Kühne's, des besten Kenners des Sehpurpurs (Untersuchungen aus dem physiologischen Institut in Heidelberg, I. S. 383). „Wir haben die Ueberzeugung, dass das menschliche Auge in der Tagesarbeit unter gewöhnlichen Verhältnissen vielfach um seinen Purpur kommt und dann wohl nahezu 40 Minuten, wenn nicht mehr, braucht, um wieder zu dem normalen Gehalt zu kommen . . .“

II. Ueber die complementär gefärbte Nachbildstrecke.

v. Kries hat gegen meine letzte Arbeit (v. Graefe's Arch. f. Ophthalm. Bd. XLIV. 3. S. 445) eine Reihe von Einwänden erhoben, die mich zu einer erneuten experimentellen Prüfung der bezüglichen Thatsachen veranlasst haben. Ich muss zunächst ein früheres Missverständniss meinerseits berichtigen:

In meiner letzten Arbeit gab ich an, v. Kries hätte zwei Phasen der nach kurzdauernder Reizung des Sehorgans auftretenden Nachbilder übersehen. Meine neuen Untersuchungen haben mich davon überzeugt, dass er einen grossen, der Zeit nach sogar den wesentlich grösseren Theil der Nachbilderscheinungen übersehen hat, die bei den von ihm benutzten Lichtstärken mit grosser Deutlichkeit zu sehen sind, sofern nur die früher von mir hervorgehobenen Fehler der Versuchsanordnung vermieden werden¹⁾. Zur leichteren Verständigung sei eine Uebersicht über die nach kurzdauernder Reizung des Sehorgans mit bewegter farbiger Lichtquelle unter Ausschluss des äussersten spectralen Roth unter den günstigsten Bedingungen wahrnehmbaren Nachbildphasen vorausgeschickt. Wir können unterscheiden:

1. Die primäre Erregung (Phase 1).
2. Ein kurzes dunkles Intervall (Phase 2).
3. Ein kurzdauerndes, zum Reizlichte im Allgemeinen gegenfarbiges Nachbild, heller als die Umgebung (Phase 3).
4. Ein längeres dunkles Intervall (Phase 4), von dem ich bereits früher (Studien über Nachbilder, S. 270) angegeben habe, dass

¹⁾ Wollte man etwa annehmen, dass v. Kries die betreffenden Nachbildphasen zwar gesehen, aber nicht erwähnt hätte (was an sich sehr unwahrscheinlich ist), so wird dadurch nichts gewonnen. Denn auch in der Theorie berücksichtigt v. Kries nicht diese Erscheinungen, deren Unvereinbarkeit mit seinen Ansichten ich früher eingehend dargethan habe. Es wäre nicht angängig, die Theorie auf einen kleinen Theil des Nachbildverlaufes zu gründen, wenn der grössere Theil der wahrnehmbaren Erscheinungen ihr widerspricht.

sich nicht mit Sicherheit sagen lässt, ob es dunkler ist, als die seitliche Umgebung.

5. Ein länger dauerndes, dem Reizlichte gleichgefärbtes, wenig gesättigtes Nachbild, heller als die Umgebung, von mir stets als „positives Nachbild schlechtweg“ bezeichnet (Phase 5).

6. Ein länger dauerndes, dunkles Nachbild, in dem im Allgemeinen eine Färbung nicht wahrnehmbar ist (Phase 6). Diese Phase wird meist nicht unmittelbar nach dem Schwinden der fünften Phase deutlich sichtbar, sondern erst eine kurze Zeit später.

Ich hatte früher geglaubt, die von v. Kries übersehenen Phasen seien die kurzdauernde complementär gefärbte (dritte) und die sechste Phase. Ich habe mich aber jetzt überzeugt, dass v. Kries nach der primären Erregung nur Phase 2 und 3 wahrgenommen, dagegen die ganzen Phasen 4, 5 und 6 völlig übersehen hat, deren Ablauf bei mässigen Lichtstärken oft drei bis zehn Secunden und noch länger dauern kann. Die Erklärung für dieses Missverständniss ist einerseits darin zu suchen, dass ich mich nur schwer zu der Annahme entschliessen konnte, dass v. Kries diesen grossen Theil des ganzen Nachbildverlaufes nicht wahrgenommen hätte. Es erschien mir eher begreiflich, dass er jene beiden meist sehr flüchtigen Nachbilder übersehen hätte, als die fraglichen, langdauernden Phasen. Ferner aber hatte ich bei meinen früheren Versuchen das kurzdauernde gegenfarbige Nachbild (Phase 3) im Allgemeinen der primären Erregung unmittelbar folgend gesehen, während ich mich später überzeugte, dass unter geeigneten Umständen auch zwischen diesen beiden ein sehr kurzes dunkles Intervall sichtbar werden kann.

Fragt man, wie es möglich ist, dass v. Kries die erwähnten langdauernden Phasen übersehen konnte, die von mir früher eingehend beschrieben waren, so ist in erster Linie darauf hinzuweisen, dass die dauernde Sichtbarkeit des zur Reizung benützten, sowie eines zum Fixiren dienenden Lichtes bei der v. Kries'schen Versuchsanordnung die Wahrnehmbarkeit der fraglichen Phasen in hohem Masse beeinträchtigt, und dass durch die rasch auf einander folgende Reizung derselben Netzhautstellen diese bald ermüdet werden.

Einen grossen Theil der Verschiedenheiten unserer Versuchsergebnisse sucht v. Kries durch die Annahme zu erklären, dass ich viel zu hohe Lichtstärken benutzt hätte. Wenn er schreibt: „Bei Anwendung sehr heller Lichter sind aber die Erscheinungen allerdings ganz andere,“ so ist eine solche Bemerkung geeignet, bei dem Leser den Glauben zu erwecken, ich hätte diese altbekannte Thatsache nicht genügend berücksichtigt. Ich möchte daher darauf hinweisen, dass ich schon lange vor v. Kries (1894)

mit fast denselben Worten, wie er jetzt, geschrieben habe: „Bei Anwendung sehr grosser Lichtstärken kann der Ablauf der Erscheinungen durch das Eintreten von Blendung sich anders gestalten. Doch wurde diese bei meinen Versuchen sorgfältig vermieden¹⁾.“ In meiner letzten Abhandlung habe ich mehrfach ausdrücklich hervorgehoben, dass die massgebenden Versuche bei „mässigen und mittleren“ (einzelne sogar bei den geringstmöglichen) Lichtstärken angestellt worden sind. v. Kries dagegen giebt bei Beschreibung einer wichtigen Versuchsreihe in seiner Abhandlung an: „um möglichst hohe Lichtstärken in Anwendung bringen zu können, wurde eine im Fensterladen angebrachte, mit Mattglas und einem blauen Glase verdeckte Oeffnung direct betrachtet.“ Der mit derartigen Beobachtungen Vertraute weiss, dass eine solche Oeffnung einem auch nur kurze Zeit für Dunkel adaptirten Auge sehr hell erscheint. Bei dieser Lichtstärke nahm v. Kries das fragliche Nachbild noch mit grosser Deutlichkeit wahr.

Ferner sagt v. Kries bei Besprechung der Versuche mit nicht adaptirtem Auge: „Man sieht alsdann, wenn das angewandte Licht sehr hell ist, sogleich, bei etwas geringerer Lichtstärke aber nach ganz kurzer Zeit (ein bis zwei Minuten) die charakteristische Form der Erscheinung etc. . . .“ Bei den Versuchen mit dunkeladaptirtem Auge habe ich stets ausdrücklich betont, dass hierbei der gesteigerten Lichtempfindlichkeit des Auges durch entsprechende Verminderung der Lichtstärke Rechnung getragen werden müsse. v. Kries hat diesen Umstand bei einem grossen Theile seiner Versuche nicht berücksichtigt. Denn er führt als „besonders instructiv“ solche Versuchsreihen an, bei welchen ein Auge hell adaptirt bleibt, das andere für Dunkel adaptirt wird und die Beobachtung dann mit zwei Augen mittels Doppelbildern oder abwechselnd mit dem einen und dem anderen Auge stattfindet. In diesem Falle sind aber selbstverständlich die relativen Helligkeiten des Reizlichtes sehr verschieden: ein dem helladaptirten Auge mässig hell erscheinendes Licht wird von dem dunkeladaptirten Auge in grosser Helligkeit gesehen, und wenn die Bedingungen für besonders deutliche Sichtbarkeit der gegenfarbigen Nachbildstrecke für das eine Auge günstig sind, so können sie für das andere recht ungünstig sein.

Ich fände es begreiflich, wenn Jemand aus den hier zusammengestellten Angaben die Vermuthung schöpfte, dass ich in der Regel geringere Lichtstärken benutzt hätte als v. Kries. Nicht verständlich ist aber die Annahme, ich hätte viel zu hohe Lichtstärken benutzt. (Vgl. auch den Abschnitt über die Nachbilder bei der total Farbenblinden.)

v. Kries sagt, in seiner Vermuthung, ich hätte in der Regel Lichtstärken benutzt, die für die Beobachtung des nachlaufenden Bildes viel zu hoch waren, liege vielleicht auch der Grund, dass ich die Erscheinung so sehr durch Ermüdung veränderlich fand und daher Pausen von 15—20 Secunden zwischen den einzelnen Beobach-

¹⁾ Im Original nicht gesperrt gedruckt.

tungen verlangt habe. Es lässt sich aber der Nachweis führen, dass bei den von v. Kries benutzten Lichtstärken deutliche Nachbilder oft durch 3—10 Sekunden und noch länger sichtbar sind. Die bei der v. Kries'schen Versuchsanordnung in Pausen von nur 1,5 bis 2 Sekunden auf einander folgenden Reizungen machten also eine Beobachtung des ganzen Nachbildverlaufs unmöglich.

Ich führe zunächst den folgenden Satz Bidwell's an: „Der Weg des umlaufenden Lichtfleckes ist gewöhnlich durch eine phosphorescirende Bahn gekennzeichnet, die, wenn die Umdrehung nicht langsamer als einmal in $1\frac{1}{2}$ Sekunden erfolgt, oft einen vollständigen Kreis bildet. Die Helligkeit (brilliancy) dieses leuchtenden Schweifes scheint bei verschiedenen Beobachtern verschieden zu sein, und ist in einigen Fällen anscheinend so intensiv, dass das nachlaufende Bild gar nicht von ihm unterschieden werden kann. Dieser Schweif entsteht durch das gewöhnlich schwache Fortbestehen des Nachbildes, dessen helles Anfangsstadium das nachlaufende Bild darstellt.“

Trotzdem auch bei Bidwell durch das dauernd sichtbare Reizlicht und die rasche Aufeinanderfolge der Reize eine sehr ungünstige Versuchsbedingung für die Wahrnehmung von Nachbildern gegeben war, so hat er doch das langdauernde positive Nachbild (Phase 5) wenigstens wahrgenommen; er nahm aber nicht wahr, dass es von der complementär gefärbten Strecke durch ein leeres Intervall getrennt, dass es bei passender Versuchsanordnung dem Reizlichte gleichgefärbt ist, und dass ihm stets noch eine weitere dunkle Phase folgt.

Da sich das v. Kries'sche Versuchsverfahren „fast genau dem von Bidwell geübten anschloss“, da ferner v. Kries viele Versuchsreihen mit beträchtlich höheren Lichtstärken anstellte, und da die Dauer der Sichtbarkeit des gleichgefärbten positiven Nachbildes mit der Lichtstärke zunimmt, so ist zu erwarten, dass bei den v. Kries'schen Versuchen dieses Nachbild (Phase 5) auch mehrere Sekunden lang sichtbar gewesen ist, auch wenn das Auge gleichzeitig von anderem Lichte getroffen wurde. Ist es aber nach der Reizung vor jedem weiteren Lichteinfalle geschützt und insbesondere die Ermüdung ausgeschlossen, so ist dieses positive Nachbild wesentlich länger sichtbar, und die ihm nachfolgende dunkle Phase (6) tritt dann deutlich hervor. Meine Angaben hierüber konnte Hamaker bestätigen, nachdem er die von mir angegebenen Vorsichtsmassregeln befolgt hatte.

Auch die Arbeit von Samojloff setzt uns in die Lage, eine Vorstellung von den Lichtstärken zu bekommen, die v. Kries benutzt hat: Samojloff beschreibt einen Apparat, der „im Freiburger Institut

seit einigen Jahren benutzt wird“. Ein kreisförmiger Ausschnitt in einer rotirenden Scheibe, der sich mit „Milchgläsern, Rauch- und farbigen Gläsern“ etc. versehen lässt, kann von rückwärts durch drei Auerbrenner beleuchtet werden, die nach den Dimensionen der Samojloff'schen Zeichnung ca. 50 cm von der Oeffnung entfernt und in einen lichtdichten Kasten eingeschlossen sind. Die rotirende Scheibe macht ca. eine Umdrehung in 1,5 Secunden.

Ich habe mir die beschriebene Vorrichtung anfertigen lassen, um ein Urtheil über die hierbei in Betracht kommenden Lichtstärken zu bekommen. Zunächst zeigte sich, dass die helle, mit Milchglas verdeckte Scheibe auf dunklem Grunde unter diesen Bedingungen eine im Vergleich zu den gewöhnlich von mir benutzten beträchtliche Helligkeit besass; auch darin liegt ein Beweis für die Irrigkeit der v. Kries'schen Vermuthung, dass ich zu hohe oder überhaupt höhere Lichtstärken zu meinen Versuchen benutzt hätte, als er.

Noch wichtiger ist Folgendes: Wenn ich mir bei den zuletzt geschilderten Beleuchtungsverhältnissen und bei ruhendem Objecte mittels eines Momentverschlusses von $\frac{1}{100}$ Secunde Belichtungsdauer Nachbilder erzeuge und dann die Augen vor jedem weiteren Lichteinfall schütze, so zähle ich von dem Augenblicke der Reizung bis zum Verschwinden des gleichfarbig positiven Nachbildes (Phase 5) bei nur kurze Zeit für dunkel adaptirtem Auge 4—6 Secunden, wenn ich farbloses Licht benutze, also die Oeffnung in der rotirenden Scheibe durch ein Milchglas verdeckt ist. Danach ist meist noch sehr deutlich die letzte negative Phase (6) für 3—5 Secunden sichtbar. Bei Benutzung nur eines einzigen Auerbrenners betrug die Zeit vom Moment der Reizung bis zum Verschwinden des gleichfarbig positiven Nachbildes (Phase 5) ca. 3—4 Secunden, und auch danach war das letzte negative Nachbild (Phase 6) noch einige Secunden lang sichtbar. Den letzteren ähnliche Werthe ergaben sich bei Benutzung farbiger Gläser (mit Milchglas) mit zwei oder drei Auerbrennern, sofern die Lichtstärke nicht durch Benutzung sehr dunkler (z. B. der sehr gesättigt rothen) Gläser allzu sehr vermindert war.

Bei der seit einigen Jahren im Freiburger Institute benutzten Versuchsanordnung ist also eine deutlich wahrnehmbare Netzhauterregung zweifellos oft 4—7 Secunden und noch länger nach einer einzelnen Reizung nachzuweisen. Bei den v. Kries'schen Versuchen folgt aber die zweite Reizung schon $1\frac{1}{2}$ Secunde nach der ersten. Also auch die Samojloff'sche Beschreibung liefert den

Beweis für die Richtigkeit meines früheren Einwandes, dass bei jenen Versuchen die Reize viel zu schnell auf einander folgen, so dass die späteren Reize stets eine, wie sich jetzt zeigt, nicht unbeträchtlich alterierte Netzhautstelle treffen, und eine Uebersicht über den gesamten Nachbildverlauf unmöglich ist. Zudem stört die dauernde Sichtbarkeit des Reizlichtes die Beobachtung in hohem Masse.

Ich komme zur Besprechung eines Punktes, in welchem v. Kries mir vorwirft, ich hätte seine Anschauungen „durchaus missverstanden“, eine „nur mir eigene Vorstellung in seine Ansichten hineingetragen“ und ihm „eine ungereimte Meinung zugeschrieben“. Es ist leicht zu zeigen, dass diesen Vorwürfen jegliche Begründung fehlt.

Seine Behauptung, ich hätte ihm „die ungereimte Meinung“ zugeschrieben, dass es auf der Fovea überhaupt keine positiven Nachbilder gebe, stützt v. Kries vermuthlich auf die Erörterungen im sechsten Abschnitte meiner Arbeit, wo ich unter Anderem geschrieben habe, dass v. Kries das Auftreten „positiver Nachbilder nach kurzdauernder Erregung des Sehorgans“ für den stäbchenfreien Netzhautbezirk vollständig in Abrede gestellt habe. Nun hatte ich aber zu Beginn meiner Abhandlung ausdrücklich hervorgehoben, als „positives Nachbild“ schlechtweg sei immer der Kürze halber „das secundäre, durch ein dunkles Intervall von der primären Erregung getrennte und meist mehrere Secunden lang sichtbare Nachbild“ bezeichnet, dass bei den von v. Kries benutzten Lichtstärken deutlich wahrgenommen werden kann.

Wenn v. Kries sagt, „niemals ist es mir eingefallen, zu meinen, dass der Zapfenapparat keinerlei positive Nachbilder liefern könne“, so kann ich darauf nur erwidern, dass es mir niemals eingefallen ist, ihm eine solche Meinung zuzuschreiben, und dass sich dies aus meiner Arbeit nicht wohl herauslesen lässt; denn ich habe nicht von positiven Nachbildern überhaupt, sondern immer nur von solchen in dem oben ausdrücklich erläuterten Sinne gesprochen. Die irrige Behauptung von v. Kries ist um so auffälliger, als ich an zwei Stellen meiner Arbeit die von ihm als kurze Nachdauer des Reizes im Zapfenapparate aufgefasste Erscheinung mit seinen eigenen Worten angeführt habe. Nicht ich also habe ihm eine ungereimte Meinung zugeschrieben, sondern er mir.

Im Anschlusse an Obiges möchte ich einen weiteren ungerechtfertigten Angriff der v. Kries'schen Schule gegen mich zurückweisen:

Samojloff bedient sich zur Untersuchung der Farbe der positiven Nachbilder der von mir hierzu früher empfohlenen Methode, gleichzeitig zwei verschieden gefärbte Lichtquellen zur Reizung zu benutzen, da dann die Färbungen der beiden Nachbilder leicht mit einander verglichen werden können. Samojloff sagt nun: „Es muss allerdings zugegeben werden, dass die Farbenangabe hinsichtlich des einzelnen nachlaufenden Bildes durch die Betonung subjectiver Täuschungsmöglichkeiten aus psychologischer Ursache (wie dies hier einmal Seitens der Hering'schen Schule geschieht) in Zweifel gezogen werden kann.“ Auch diese Unterstellung ist ungerechtfertigt. Ich habe niemals eine solche „subjective Täuschungsmöglichkeit aus psycho-

logischer Ursache“ auch nur angedeutet, geschweige betont. Ich habe die fragliche Methode nicht angegeben, um solche Täuschungsmöglichkeiten „aus psychologischer Ursache“ zu vermeiden, sondern, wie ich ausdrücklich hervorhob, deshalb, um bei den widersprechenden Angaben die Färbung des Nachbildes möglichst leicht und deutlich wahrnehmbar zu machen.

Indem Samojloff unterlässt, anzugeben, dass er die Methode der Vergleichung zweier verschieden gefärbter Lichter, die er gegen mich ins Feld zu führen versucht, von mir selbst entlehnt hat und dass sie nicht von ihm herrührt, erhält der Leser ein unzutreffendes Bild von den tatsächlichen Verhältnissen.

In einem Referate über die Samojloff'sche Arbeit schreibt W. A. Nagel (Zeitschr. f. Augenheilkunde, September 1899) bei Besprechung der Farbe des fraglichen Nachbildes, „dass es sich hierbei nicht, wie eingewendet war, um eine ‚psychologische‘ Täuschung handelt“ Nagel erweckt durch die Anführungszeichen bei dem Leser die Meinung, dass ich (nur auf mich kann sich dieser Passus beziehen) gar diesen Ausdruck gebraucht hätte, der in dem betreffenden Zusammenhange keinen Sinn hat. Ich habe nie gegen v. Kries eingewendet, seine Angaben könnten auf eine „psychologische“ Täuschung zurückgeführt werden, und meine Arbeiten bieten keinerlei Anhaltspunkte, um diese Behauptungen Samojloff's und Nagel's etwa durch ein Missverständniss erklären zu können. Also auch hier schreibt mir die v. Kries'sche Schule eine von mir niemals geäußerte ungereimte Ansicht zu.

Die Streitfrage über die Färbung der in Rede stehenden Nachbildphase (3) erledigt sich nach dem zu Anfang dieses Abschnittes Gesagten in befriedigender Weise:

Meine Angaben über das gleichgefärbte, meist mehrere Sekunden sichtbare Nachbild betreffen eine jener Phasen, die v. Kries in Folge der oben erwähnten Fehler ganz übersehen hat.

Die v. Kries'sche Darstellung aber gilt der complementär gefärbten Strecke, die ich lange vor ihm (in einer von ihm zwar früher referirten, aber später nicht berücksichtigten Arbeit) mit den folgenden Worten beschrieben habe: „Unmittelbar hinter dem bewegten leuchtenden Objecte sieht man eine kurze helle Linie von der gleichen Farbe wie die Lichtquelle. Hierauf folgt eine in der Regel etwas längere Strecke, welche insbesondere bei Benutzung stark gesättigter farbiger Lichter deutlich complementäre Färbung zeigt¹⁾.“

III. Die Nachbilder im fovealen Bezirke, bei rothem Lichte und bei Dunkeladaptation.

Seine Hypothese von der Function der Stäbchen und Zapfen stützt v. Kries in Betreff der Nachbilderscheinungen auf drei An-

¹⁾ Im Original nicht gesperrt gedruckt.

gaben: „Es soll das positiv gegenfarbige Nachbild (Phase 3) im fovealen Bezirke fehlen (nach der neueren Anschauung soll der centrale Bezirk in dieser Beziehung „in seiner Leistung bis zur Unmerklichkeit hinter den Nachbartheilen zurückbleiben“). Diese Phase soll 2. bei Reizung mit rothem Lichte auf der ganzen Netzhaut fehlen, und 3. nach mehrstündiger Dunkeladaptation fortfallen.

Das Interesse, welches der erste Punkt als Stütze für die v. Kries'sche Theorie haben könnte, wird wesentlich verringert durch den Nachweis, dass das fragliche Nachbild nur einen verhältnissmässig kleinen Theil des ganzen Nachbildverlaufs bildet, dessen grösserer von v. Kries übersehener Theil — insbesondere die lange gleichgefärbte Nachbildphase — auf dem fovealen Bezirke, wie ich früher ausführlich gezeigt habe, im Wesentlichen in gleicher Weise zu sehen ist, wie auf dem extrafovealen. Immerhin schien eine erneute Untersuchung dieses Punktes mit geeigneten Methoden nicht überflüssig.

Gegen die v. Kries'sche Versuchsanordnung hatte ich eingewendet, dass durch Benutzung eines leuchtenden Fixirzeichens (schwach glühender Platindraht oder Glühlämpchen) eine bedenkliche Fehlerquelle eingeführt sei. v. Kries führt jetzt als Beweis dafür, dass das foveale „Springen“ des nachlaufenden Bildes nicht auf den ermüdenden oder sonstwie störenden Einfluss des Fixirzeichens zurückzuführen sei, die Thatsache an, dass, wenn man daneben fixire, man aufs Deutlichste das Nachbild über das excentrische Lichtzeichen, selbst bei erheblich grösseren Lichtstärken desselben, ohne Sprung hinlaufen sehe. Gerade vom Standpunkte der v. Kries'schen Theorie ist aber dieser Schluss nicht beweiskräftig. Er kann nur beweiskräftig sein, wenn man voraussetzt, dass zwischen Fovea und Umgebung keine sehr grossen Unterschiede bestehen. Nun nimmt aber v. Kries ja an, dass der Dunkelapparat im Centrum nur in äusserst reducirtem Masse vorhanden sei. Es kann also vom Standpunkte seiner Theorie immer der Einwand gemacht werden, dass die geringe Lichtstärke des Fixirlichtes wohl genüge, um die minimalen Mengen des Dunkelapparates im Centrum ganz functionsunfähig zu machen, während dieser auf dem extrafovealen Gebiete in genügend grossen Mengen vorhanden sei, um auch bei erheblich grösseren Lichtstärken des Fixirlichtes die Wahrnehmung des fraglichen Nachbildes zu ermöglichen. Dass quantitative Differenzen zwischen Fovea und Umgebung bestehen, habe ich aber selbst erörtert, unter besonderem Hinweise auf die langsamere und unvollständigere Adaptation

der fovealen Netzhauttheile. (Für die kurzwelligen Lichter kann auch die Absorption durch das Maculapigment in Betracht kommen.) Dass übrigens auch schwache Fixirlichter auf die Sichtbarkeit der Nachbilder störend einwirken können, hat sich mir auch bei meinen neuen Beobachtungen gezeigt. Zu einwandfreier Untersuchung der Frage nach dem Vorhandensein oder Fehlen der fraglichen Nachbilder in der Fovea sind somit Methoden erforderlich, bei welchen Fixirlichter entweder ganz vermieden oder doch so angebracht sind, dass sie sich nicht auf der Fovea selbst abbilden. Mehrere derartige Methoden habe ich in meiner letzten Arbeit angegeben, doch fanden sie bei den späteren Bearbeitern keine Berücksichtigung. Unter den Methoden ohne jedes Fixirlicht führe ich die folgenden an:

1. Beim Auslösen eines lichtdicht vor das Auge gehaltenen Momentverschlusses wird eine grosse, gleichmässig weisse, mit farblosem oder farbigem Lichte beleuchtete Fläche sichtbar gemacht.

2. Bei Auslösen des Momentverschlusses im Dunkelzimmer ist das Auge auf einen grossen mattschwarzen Carton gerichtet, in welchem in einem mittleren Abstände von je 8 mm von einander kreisrunde Löcher von je 4 mm Durchmesser ausgeschlagen sind. Die Rückseite des Cartons ist mit Seidenpapier überklebt und kann mit weissem oder farbigem Lichte gleichmässig beleuchtet werden. Die Lichtstärke ist innerhalb weiter Grenzen variirbar. Die Beobachtungen werden in verschiedenen Abständen von der Fläche vorgenommen, so, dass immer eines oder mehrere der Löcher auf fovealem Gebiete sich abbilden müssen. Bei anderen Versuchen waren in dem mattschwarzen Carton statt der runden Löcher zehn Streifen von 20 cm Länge und 5 mm Breite so ausgeschnitten, dass zwischen je zwei Streifen eine 10 mm breite Brücke stehen blieb.

3. Ein ca. 20 cm langes Glasrohr, innerhalb dessen sich ein entsprechend langer Kohleglühfaden befindet, ist von einer mattschwarzen Metallhülse umschlossen, in welcher sich der ganzen Länge des Rohres entsprechend ein ca. 1 mm breiter, mit weissem Papier hinterlegter Schlitz befindet. Das Rohr ist durch leichtbewegliche Schnüre mit der elektrischen Leitung verbunden, die Lichtstärke durch einen bequem zu handhabenden Rheostaten innerhalb weiter Grenzen variirbar. Bei Bewegen des Rohres vor dem Auge wird also letzteres durch eine lange schmale Lichtlinie gereizt, die auch ohne jeden Fixirpunkt über die Fovea gleitet und einen directen Vergleich der fovealen und extrafovealen Nachbilder besonders leicht gestattet.

4. Zur Untersuchung mittels eines dem von v. Kries gewöhnlich geübten analogen Verfahrens benutzte ich zeitweilig den von Samojloff beschriebenen Apparat (s. o.). Ich verliess ihn aber bald, um ihn durch einen zweckmässigeren, in folgender Weise hergerichteten zu ersetzen: An dem Gestell eines Hering'schen Farbenkreisels wurde eine mattschwarze, runde Holzscheibe von ca. 20 cm Durchmesser befestigt, welche durch einen Motor in Umdrehung von gewünschter Geschwindigkeit versetzt werden konnte. An der Peripherie der Scheibe leuchtete ein Milchglasglühlämpchen von ca. 10 mm Durchmesser, dessen Helligkeit während der Umdrehung durch einen Rheostaten innerhalb weiter Grenzen beliebig regulirbar war. Ein Stromschlüssel ermöglichte in jedem Augenblicke die Unterbrechung der Belichtung, so dass der Beobachter sich dann im völlig dunklen Raume befand. Dies, sowie die Möglichkeit, während der Beobachtung selbst die Lichtstärke nach Bedürfniss zu reguliren, ohne den Versuch zu unterbrechen, bilden neben der viel grösseren Einfachheit der Vorrichtung die Vorzüge vor dem Samojloff'schen Apparate. Die Beobachtung mit farbigem Lichte geschah mittels gefärbter Gläser. Um foveale Reizung ohne foveales Fixiren zu ermöglichen, war an passender Stelle zu beiden Seiten der vom Lichte durchlaufenen Bahn je ein kleiner mit Leuchtfarbe bestrichener Punkt angebracht. Der gegenseitige Abstand der Punkte war, dem Abstände des Beobachters entsprechend, so gewählt, dass das Reizlicht, wenn das Auge auf die dunkle Mitte zwischen den beiden Pünktchen gerichtet war, auf fovealem Gebiete sich abbilden musste. Für die im Folgenden zu besprechenden Versuchsreihen wurden, wie früher stets, mässige und mittlere, zum Theil auch sehr geringe Lichtstärken benutzt. Da diese Methode mit dem umlaufenden Bilde trotz der erwähnten Vorsichtsmassregeln noch immer den grossen Nachtheil hat, dass die folgenden Reize immer wieder dieselbe Netzhautstelle treffen, so habe ich sie in der von v. Kries geschilderten Weise nur ausnahmsweise benutzt; bei genügend häufiger und langer Unterbrechung des Stromes aber kann sie für manche Beobachtung brauchbar erscheinen.

Wenn die positiv-gegenfarbige Nachbildphase (3) im fovealen Bezirke wirklich vollkommen fehlt, bzw. bis zur Unmerklichkeit hinter den Nachbartheilen zurückbleibt, so wäre zu erwarten, dass bei der ersten Methode nach Abklingen der primären Erregung in der gegenfarbig erscheinenden hellen Fläche ein dunkler Fleck an der Stelle des directen Sehens sich zeigte. Dies ist aber nicht der Fall.

Sehr häufig sieht man, bei mittlerer Helligkeit der Fläche schon im Vorbilde, also im Augenblicke der Belichtung, bei diesen Versuchen die Fläche nicht ganz gleichmässig hell: An der Stelle des directen Sehens ist ein verwaschener Fleck sichtbar, der in der Regel eine Spur dunkler erscheint als die übrige Fläche, übrigens bei verschiedenen Farben verschieden deutlich ist. Wenn ich nach Adaptation von wenigen Minuten einen Bogen weissen Papiers, der aus ca. 50 cm Entfernung von einer gewöhnlichen Petroleumlampe beleuchtet ist, momentan sichtbar mache, so nehme ich im Augenblicke der Belichtung an der Stelle des directen Sehens einen kleinen verwaschenen Fleck wahr, der eine Spur dunkler und etwas gesättigter gelb erscheint als die übrige Fläche. Während der Dauer der Phase 3 ist dann eine gleichmässig blaue Fläche sichtbar, in welcher die Stelle des directen Sehens sich eher weniger deutlich abhebt, als im Vorbilde, und gleichfalls eine Spur weniger hell erscheint, als die Umgebung. Der Unterschied ist gering, keinesfalls kann von einem Fehlen des Nachbildes an der betreffenden Stelle die Rede sein. Andere normalsichtige Beobachter sahen die Erscheinung im Wesentlichen ebenso. Auch bei Anwendung rothen Reizlichtes ist der foveal gesehene Theil der Fläche schon im Vorbilde deutlich von der Umgebung zu unterscheiden.

Bei der zweiten Methode sind während des ganzen Nachbildverlaufes alle Scheiben deutlich sichtbar: Wohl aber erscheinen zuweilen die foveal abgebildeten unmittelbar nach dem Abklingen der primären Erregung eine Spur, aber niemals wesentlich weniger hell, als die übrigen. Die darauffolgende, länger dauernde, positive, gleichgefärbte Phase (5) ist dann bei allen Scheiben in angenähert gleicher Weise wahrnehmbar, so lange nicht sehr hohe Lichtstärken benutzt werden. Analoge Ergebnisse lieferte die Beobachtung an der von hellen Streifen durchsetzten mattschwarzen Fläche. Nach v. Kries wäre zu erwarten, dass die foveal abgebildeten Theile während der Dauer der positiv gegenfarbigen Nachbildphase (3) unsichtbar wären.

Wenn auch diese Methoden mit unbewegter Lichtquelle jenen mit bewegter nicht direct vergleichbar sind, so zeigen sie doch, dass die fragliche Nachbildphase bei den benutzten mässigen Lichtstärken im fovealen Gebiete sichtbar und im Allgemeinen nur wenig oder nicht merklich von der im extrafovealen verschieden ist. Diese Unterschiede im Nachbilde erklären sich aus den entsprechenden vorher erwähnten Unterschieden der Helligkeit im Vorbilde; beide sind wohl auf die schon früher betonte langsamere und unvollständigere Adaptation des fovealen Bezirkes zurückzuführen. (Dass bei den kurzwelligen Lichtern die maculare Absorption in Betracht kommen kann, bedarf keiner Erörterung.)

Unter den Versuchen mit bewegter Lichtquelle ist zur simultanen

Vergleichung der fovealen und extrafovealen Nachbildtheile die Beobachtung mit der Lichtlinie ohne Fixirlicht besonders zweckmässig.

Die schmale Lichtlinie erscheint bei geringer Lichtstärke des Glühfadens in einer ausgesprochen gelbrothen Färbung. Bewegt man sie mit passender (ziemlich geringer) Geschwindigkeit am Auge vorüber, so wird eine zweite, etwas breitere, helle, schön blaugrüne Linie sichtbar, die zur ersten parallel verläuft und von ihr durch einen schmalen, dunklen Saum getrennt ist. Nach den v. Kries'schen Beobachtungen müsste die Nachbildlinie auf der dem fovealen Gebiete entsprechenden Stelle vollständig fehlen; nach der v. Kries'schen Theorie dagegen müsste sie hier in einem im Vergleiche zur Umgebung sehr gesättigten Farbentone, dunkler als die Umgebung, gesehen werden. Beides ist nicht der Fall: Auch bei verhältnissmässig geringen Lichtstärken und helladaptirtem Auge sieht man die blaugrüne Nachbildlinie ohne Unterbrechung durch das Gesichtsfeld gleiten. — Das entsprechende Verhalten findet man bei Reizung mit andersfarbigem Lichte. Insbesondere erscheint der foveal gesehene Theil der Nachbildlinie im Allgemeinen nicht merklich gesättigter als der übrige und wird in der Regel auch angenähert gleich hell gesehen wie die übrigen Theile, jedenfalls habe ich ihn bei den von mir benutzten Versuchsbedingungen nie wesentlich gesättigter und dunkler gesehen, wie es nach der v. Kries'schen Theorie zu erwarten wäre.

(Bei starker Dunkeladaptation und genügend geringer Lichtstärke des Reizlichtes wäre wohl denkbar, dass, in Folge der langsameren und unvollständigeren Adaptation der fovealen Netzhautpartie das Nachbild hier einmal etwas gesättigter und dunkler erscheinen könnte; dabei würde es sich aber auch um verhältnissmässig kleine Unterschiede handeln. Die v. Kries'sche Theorie aber lässt sehr grosse Sättigung und sehr auffallende Dunkelheit des fovealen Nachbildtheiles erwarten.)

Ueber die Dauer der fovealen und extrafovealen Nachbilder kann uns die Methode mit der bewegten Lichtlinie bis zu einem gewissen Grade Aufschluss geben: Man sieht oft und zwar bei mittleren Lichtstärken zuweilen deutlicher, als bei sehr schwachem (gelbrothem) Lichte, dass das dunkle Intervall zwischen der primären Erregung und der gegenfarbigen Phase im fovealen Gebiete bei passender Geschwindigkeit der Bewegung ein kleines wenig breiter erscheint als im extrafovealen. An der entsprechenden Stelle ist die complementär gefärbte Nachbildlinie öfter eine Spur schmaler als in der Umgebung, doch deutlich und continuirlich sichtbar. Dies scheint darauf

hinzudeuten, dass im fovealen Gebiete das complementär gefärbte Nachbild einen Moment später auftritt¹⁾. Die hintere Grenzlinie des fraglichen Nachbildstreifens (Phase 3) erschien meist als eine Gerade, woraus hervorgeht, dass diese Phase im fovealen und im extrafovealen Gebiete in angenähert gleichem Zeitpunkte abklingt.

Hamaker hat (nach Untersuchung mit anderen Methoden und bei Benutzung eines foveal abgebildeten Fixirlichtes) angegeben, dass diese Phase (3) in der Fovea bei Anwendung rothen und grünen Lichtes sichtbar, dass das Nachbild aber hier sehr dunkel sei. Diese Angabe konnte ich mit meinen Methoden nicht bestätigen. Der Streifen, der dem gut entwickelten fovealen Nachbilde entspricht, erscheint mir hier im Allgemeinen nicht merklich dunkler, als die entsprechenden extrafovealen Streifentheile.

Auch die primäre Erregung könnte vielleicht im fovealen Gebiete eine andere Dauer haben als im extrafovealen. Ich habe die einschlägigen Erscheinungen nicht systematisch durchgeprüft, möchte aber erwähnen, dass ich öfter bei Benutzung gesättigt rothen Lichtes und bei geringer Lichtstärke am fovealen Theile der der primären Erregung entsprechenden rothen Linie eine geringe nach rückwärts gerichtete Erhebung wahrnahm (was möglicherweise auf eine etwas längere Dauer der primären Erregung im fovealen Gebiete bezogen werden könnte). Bei den anderen Farben sah ich die Erscheinung nicht: bei blauen und violetten Lichtern ist die Beobachtung wegen der macularen Absorption erschwert. Bei gelben und grünen Lichtern sah ich wohl, dass der foveal gesehene Theil der (der primären Erregung entsprechenden) Linie etwas anders erschien als die angrenzenden extrafovealen Theile, der Unterschied war aber kein genügend constanter, um eine sichere Beurtheilung zu gestatten.

Die vierte Methode (Reizung mit bewegtem Lichtpunkte), die v. Kries vorwiegend benutzt hat, ist für die Untersuchung des Verhaltens der fraglichen Nachbildphase nicht so zweckmässig, als die vorher besprochene, da sie eine gleichzeitige Beobachtung der fovealen und extrafovealen Nachbilder nicht gestattet. Wenn die Wahrnehmung richtig ist, dass die complementär gefärbte Phase (3) im fovealen Gebiete ein wenig später auftritt, als im extrafovealen, so ist wohl begreiflich, dass hier das Nachbild etwas „Sprungweises“ bekommen kann (v. Kries). Wenn zudem eben dieses Gebiet durch ein dauernd sichtbares Fixirlicht ermüdet ist, so mag wohl die fragliche Phase hier auch einmal ganz unsichtbar werden; bei Vermeidung eines fovealen Fixirlichtes konnte ich mich mit dieser Methode von dem angeblichen Fehlen des fovealen Nachbildtheiles nicht überzeugen.

¹⁾ Dass die Dauer der Nachbilder nach längerem Fixiren auf fovealem und extrafovealem Gebiete eine verschiedene ist, hat kürzlich Walter in einer im Hering'schen Laboratorium (gemeinsam mit Tschermak) ausgeführten Untersuchung gezeigt.

Für die Beurtheilung des Einflusses eines Fixirlichtes ist der folgende Versuch von Interesse: Etwas hinten und seitlich von dem umlaufenden Milchglasglühlämpchen brachte ich einen kleinen mit Leuchtfarbe bestrichenen Fleck so an, dass bei der Umdrehung des Lämpchens das gegenfarbige Nachbild und der Leuchtfleck neben einander gesehen wurden und somit leicht ihre scheinbaren Helligkeiten mit einander verglichen werden konnten (selbstverständlich war Sorge getragen, dass auf den Leuchtfleck von dem Glühlämpchen kein Licht fallen konnte). Wenn die Leuchtfarbe einige Zeit vorher dem diffusen Tageslicht ausgesetzt war, so zeigte sich bei mittlerer Lichtstärke des Glühlämpchens, dass der mit Leuchtfarbe bestrichene Fleck angenähert ebenso hell erschien als das complementär gefärbte Nachbild. Eine geringe Verminderung der Lichtstärke des Glühlämpchens, wobei aber das nachlaufende Bild noch in voller Deutlichkeit sichtbar war, genügte, um den Leuchtfleck wesentlich heller erscheinen zu lassen als dieses nachlaufende Bild.

Hamaker benutzte bei seinen Versuchen anfänglich einen mit Leuchtfarbe bestrichenen Fleck. Später aber, bei seinen systematischen Untersuchungen wurde „ein schärferer und hellerer Fixationspunkt“ benutzt (kleine kreisförmige Oeffnung in einem Schirme, hinter welchem ein schwaches Licht angebracht war). „Auf diese Weise war die Fixation viel bequemer festzuhalten, als mit der äusserst schwach leuchtenden Leuchtfarbe möglich ist.“ Nach dem Gesagten ist es wohl möglich, ja wahrscheinlich, dass Hamaker's Fixirlicht eine grössere scheinbare Helligkeit besass, als das zu untersuchende Nachbild. Dass dessen Sichtbarkeit hierdurch wesentlich beeinträchtigt werden muss, ist einleuchtend. Hamaker überzeugte sich denn auch mit anderen Methoden (mit unbewegter Lichtquelle), dass die Phase (3) auch im fovealen Bezirke sichtbar war — wenigstens bei Anwendung rothen und grünen Lichtes. Bei seinen theoretischen Erörterungen nimmt er das Vorhandensein des fraglichen Nachbildes in der Fovea auch für die übrigen farbigen Lichter an.

Die von mir benutzte Versuchsanordnung mit dem umlaufenden Glühlämpchen gestattet in überzeugender Weise die Unhaltbarkeit der v. Kries'schen Annahme darzuthun, ich hätte viel zu hohe Lichtstärken benutzt, und es lässt sich damit zeigen, dass alle von mir beschriebenen Nachbildphasen, die v. Kries übersehen hat, bei den von ihm benutzten Lichtstärken mit grosser Deutlichkeit wahrzunehmen sind. Ich ging zunächst von einer Lichtstärke des Glühlämpchens aus, bei welcher das durch einen dunklen Zwischenraum von der primären Erregung getrennte gegenfarbige Nachbild ebenso wie die drei folgenden Phasen mit dem gleichfarbig positiven Nachbilde sehr gut zu sehen sind. Man sieht sie deutlich z. B. auch noch bei so geringer Lichtstärke des Glühlämpchens, dass der glühende Kopf einer neben dieses gehaltenen glimmenden Cigarette heller erscheint. Ich verminderte nun während des Umlaufes ganz allmählich die Lichtstärke des Glühlämpchens: Die anfangs deutlich

complementär gefärbt erscheinende Strecke (Phase 3) hebt sich dann immer weniger deutlich von der Umgebung ab und erscheint bald ganz oder nahezu farblos. Man sieht ihr aber auch jetzt noch das zweite leere Intervall und das länger dauernde positive Nachbild folgen, das jetzt gleichfalls ungefärbt erscheint. Unterbricht man den Strom, so kann man auch die sechste Phase als dunkle Linie in etwas weniger dunkler Umgebung während mehrerer Secunden noch deutlich sehen. Es zeigt sich also, 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 nötig; dann sind aber die drei letzten Phasen beträchtlich länger sichtbar, sofern das Auge vor weiterem Lichteinfall geschützt wird. — Bei den v. Kries'schen Versuchen wurde das Auge aber bereits 1,5—2 Secunden nach der ersten Reizung wieder gereizt und beständig von den Strahlen des Reiz- und des Fixirlichtes getroffen.

Bei passend herabgesetzter Lichtstärke werden die Phasen 3 und 5 deutlich und durch ein leeres Intervall von einander getrennt, aber farblos gesehen. Wird die Lichtstärke nun noch mehr herabgemindert, so wird dieses Intervall (Phase 4) allmählich weniger deutlich, bezw. fast oder ganz unsichtbar, so dass dann die Phase 3 mehr oder weniger continuirlich, ohne deutlichen Zwischenraum in Phase 5 übergeht. Man sieht dann nach Abklingen der primären Erregung einen (der Phase 2 entsprechenden) dunklen Zwischenraum, darauf eine längere helle Linie, deren Helligkeit nach rückwärts allmählich abnimmt. — Wird der Strom unterbrochen, so ist auch jetzt nach dem Schwinden der hellen Linie noch eine dunkle Linie in weniger dunkler Umgebung einige Zeit sichtbar (Phase 6). Also auch bei so geringen Lichtstärken, bei welchen die dritte Phase in ihrer charakteristischen Erscheinung gar nicht mehr gesehen werden kann, ist die Nachwirkung des Lichtreizes noch durch mehrere Secunden deutlich wahrnehmbar.

Die im Vorstehenden geschilderten Methoden gestatten auch leicht den Nachweis, dass die von v. Kries übersehenen Phasen 4, 5 und 6, insbesondere das länger dauernde, in Bezug auf Helligkeit und Farbe positive Nachbild im fovealen Bezirke sich nicht wesentlich anders verhalten, als im extrafovealen. Hamaker, der diese Phasen im Allgemeinen richtig beschreibt (Phase 6 hat auch er

bei den Versuchen mit bewegter Lichtquelle nicht gesehen), konnte über Vorhandensein oder Fehlen derselben in der Fovea nicht zu bestimmten Ergebnissen kommen — vermuthlich, weil er ein foveal abgebildetes, nicht ganz schwaches Fixirlicht benutzte. Bei Versuchen mit unbewegter Lichtquelle soll das langdauernde positive Nachbild im fovealen Bezirke nach Hamaker nicht wahrgenommen werden. Bei diesen Versuchen waren aber die früher von mir hervorgehobenen Fehlerquellen nicht vermieden. Im Hinblick auf die principielle Bedeutung dieses Punktes möchte ich die folgenden Versuche hervorheben: Wird die gleichmässig gefärbte helle Fläche momentan sichtbar gemacht, so ist während der Dauer der fünften Phase wieder eine gleichmässig helle Fläche sichtbar, die farblos oder ganz schwach gefärbt erscheint. Die Färbung stimmt mit jener des Reizlichtes überein. Da das Nachbild meist mehrere Secunden sichtbar ist, so kann man sich sehr leicht überzeugen, dass der foveale Theil sich wenig oder gar nicht von der Umgebung unterscheidet. Analoge Ergebnisse liefert die Beobachtung mit den Gruppen heller Scheiben auf dunklem Grunde. Fehlte das fragliche Nachbild im fovealen Bezirke, so müsste während der ganzen Dauer dieser Phase je nach dem Abstände des Beobachters eine grössere oder kleinere Anzahl der hellen Scheiben vollkommen ausfallen, was, wie oben schon erwähnt, nicht der Fall ist.

Zum Nachweise, dass auch bei bewegtem Objecte das länger dauernde positive Nachbild (Phase 5) den fovealen Bezirk nicht überspringt, wenn dieser nicht vorher durch Lichtreize ermüdet war, empfehlen sich u. A. die folgenden Versuche.

Im Dunkelmzimmer werden in einem gegenseitigen Abstände von ca. 3 cm zwei feine leuchtende Pünktchen (etwa mittels Leuchtfarbe hergestellt) sichtbar gemacht. Der Beobachter richtet den Blick auf die dunkle Mitte zwischen beiden in $\frac{1}{2} - \frac{3}{4}$ m Entfernung vom Auge befindlichen Pünktchen. Nun wird vor dem Auge ein schwach leuchtendes Glühlämpchen in sehr raschen Bewegungen mehrere Male in zur Verbindungslinie der Pünktchen angenähert senkrechten Linien zwischen diesen auf- und abgeführt. Trotzdem hierbei die späteren Erregungen zum Theil bereits gereizte, also etwas ermüdete Netzhautstellen treffen, sieht man das positive Nachbild (Phase 5) in Gestalt mehrerer neben einander liegender steiler Curven zwischen beiden Leuchtpünktchen. Fehlte das fragliche Nachbild in der Fovea, so müsste unter den angegebenen Bedingungen die Mehrzahl der steilen Linien zwischen den Pünktchen unterbrochen erscheinen. Aber

dies ist nicht der Fall. Auch bei Benutzung der bewegten Lichtlinie erscheint die fünfte Phase als breite, angenähert gleichmässig helle Bahn, ohne eine Unterbrechung im fovealen Bezirke.

Endlich kann man sich die Gegend des fovealen Gesichtsfeldbezirkes zur Untersuchung der fraglichen Phase auch in der folgenden Weise mittels Nachbildern sichtbar machen, ohne dass dabei die Fovea durch Fixirlicht und andere Lichtreize ermüdet wird.

Man fixire vor Beginn der eigentlichen Beobachtung aus einem Abstände von etwa 40—50 cm den Mittelpunkt einer kreisförmigen schwarzen Fläche von ca. 20 mm Durchmesser, die von einem etwa 4 mm breiten weissen Saume umgeben ist. Bei meinen Versuchen hatte ich aus der Mitte eines grösseren mattschwarzen Cartons zwei halbkreisförmige (C), 4 mm breite Streifen so ausgeschnitten, dass diese von dem Carton ein kreisförmiges Stück von etwa 2 cm Durchmesser umschlossen; die Rückseite war mit Seidenpapier überklebt, dahinter ein Glühlämpchen so angebracht, dass die Halbkreise in mässiger Helligkeit gesehen wurden.

Fixirt man einige Secunden lang den dunklen Mittelpunkt der schwarzen Fläche z. B. aus 40 cm Entfernung, so bildet sich der helle Kreis auf etwas ausserhalb der Fovea gelegenen Netzhautstellen ab; diese werden in ihrer Erregbarkeit so weit verändert, dass sie noch während einer oder selbst einiger Minuten nach Schluss des Fixirens in dem länger dauernden Nachbilde eines rasch bewegten, schwach leuchtenden Glühlämpchens deutlich sichtbar bleiben: Die helle Linie des fraglichen Nachbildes zeigt an den ermüdeten Stellen eine mehr oder weniger ausgesprochene, oft sehr deutliche Unterbrechung.

Bewegt man jetzt, wie im vorherigen Versuche, das Glühlämpchen rasch mehrere Male vor dem Auge auf und ab, so zeigen alle Nachbildlinien an den dem ermüdeten Netzhautringe entsprechenden Stellen eine solche Unterbrechung, sind dagegen in dem von diesem Ring umschlossenen Bezirke, der bei dem gewählten Abstände zum grössten Theile foveal gelegen ist, in voller Schärfe sichtbar.

Wir haben im Vorstehenden besonders einfache Beispiele für drei verschiedene Gruppen von Untersuchungsmethoden angeführt (1. Beobachtung ohne jede Fixation, 2. Beobachtung mit extrafovealen Fixirpunkten, 3. Kenntlichmachung des fovealen Bezirkes durch extrafoveale Ermüdung), mit deren Hilfe es ermöglicht wird, die fragliche Nachbildphase (Phase 5) im fovealen Bezirke zu studiren, ohne dass dieser vor, während und nach der Reizung durch ein Fixirlicht ermüdet wird. Diese Methoden gestatten zum grossen Theile auch dem Ungeübten, mit einfachen Mitteln sich davon zu überzeugen, dass unter den geschilderten Versuchsbedingungen ein lang dauerndes, in Bezug auf Farbe und Helligkeit positives Nachbild im fovealen Bezirke nicht wesentlich anders als auf dem extrafovealen zu Stande kommt.

Auch bezüglich der Nachbilder bei Anwendung rothen Lichtes zur Reizung stellte ich neue Versuche an. Bei der geringen weissen Valenz der gesättigt rothen Lichter ist, wie ich schon früher hervorhob, selbstverständlich eine entsprechende Erhöhung der Lichtstärke für die Erzeugung deutlicher Nachbilder nothwendig. War diese Bedingung aber erfüllt, so konnte ich mit den käuflichen gesättigt rothen (mit Kupferoxydul überfangenen) Gläsern deutliche und schöne Nachbilder erhalten, die in ihrem ganzen Verhalten, Färbung etc., mit jenen bei Anwendung andersfarbiger Lichter im Allgemeinen übereinstimmten. Auch wenn ich die meist leicht gelblich-rothen käuflichen Gläser mit einem blau gefärbten Glase verband und so ein angenähert homogenes Roth zur Reizung benutzte, waren die bekannten Nachbildphasen zu sehen.

Bei Anwendung ziemlich grosser Lichtstärke und Benutzung sehr gesättigt rother Gläser sah ich wiederholt die dritte Phase sehr deutlich, aber nicht gegenfarbig, sondern gleichfalls roth und zwar in einem ganz leicht bläulichrothen Tone. Die Erklärung der Erscheinung ist nach der Theorie der Gegenfarben einfach (wobei man berücksichtigen muss, dass die fraglichen rothen Lichter im Allgemeinen eine mehr oder minder grosse gelbe Valenz besitzen); ich verweise bezüglich derselben sowie in Betreff der Erklärung des bei Benutzung andersfarbiger Reizlichter in der Regel complementär gefärbten hellen Nachbildstreifens (Phase 3) auf meine Darstellung in v. Graefe's Arch. f. Ophthalm. Bd. XL. 2. S. 273: „So wie der Reizwerth eines jeden farbigen Lichtes in eine farblos und in eine farbig wirkende Componente zerlegt gedacht werden kann, ebenso kann man die einer kurzdauernden Belichtung der Netzhaut folgende Erscheinungsreihe in eine farblose und eine farbige Componente zerlegt denken, welche beide nicht genau synchronisch ablaufen müssen, sondern gegen einander in ihrem Ablaufe mehr oder weniger verschoben sein können. Die Nachwirkungen der farbigen Componente des Lichtreizes können nach der Theorie der Gegenfarben sowohl betreffs der Stärke oder Deutlichkeit als auch betreffs der Dauer ihrer einzelnen Phasen innerhalb gewisser Grenzen unabhängig von jenen der farblosen Componente ablaufen. Daher kann unter Umständen eine negative Phase der farbigen Nachwirkung sich zum Theile mit einer positiven Phase der farblosen Nachwirkung decken. Auf diese Weise entstehen überhaupt die sogenannten positiv complementär gefärbten Nachbilder.“ — Bei den meisten der zu unseren Untersuchungen benutzten farbigen Reizlichter ist die farbige Componente des Reizwerthes im Verhältniss zur weissen Valenz nicht sehr gross. Dagegen ist das Verhältniss der beiden Componenten ein anderes bei Benutzung der sehr gesättigt rothen Lichter, die bekanntlich eine relativ grosse farbige Valenz haben. Hier kann also wohl bei dem fraglichen Nachbilde auch einmal die positive Phase der farblosen Nachwirkung mit der positiven der farbigen zusammenfallen.

Endlich habe ich auch die Versuche mit langdauernder Adaptation (von zwei Stunden und mehr) mit besonderer Berücksichtigung der positiven complementär gefärbten Phase (3) nochmals wiederholt, da v. Kries die bezüglichen Erscheinungen als „besonders wichtig“ bezeichnet hat.

Wiederum konnte ich bei einer grossen Zahl von Versuchen feststellen, dass auch nach mehrstündiger Dunkeladaptation die complementär gefärbte Strecke deutlich sichtbar ist, wie ich früher bereits betont habe. Auch die drei folgenden von v. Kries übersehenen Phasen ändern sich nicht wesentlich bei langdauernder Dunkeladaptation. Um auch hier eine Vorstellung von den von mir benutzten Lichtstärken zu geben, erwähne ich, dass z. B. mit einer glimmenden Cigarette die sämtlichen Phasen selbst nach Dunkeladaptation von sechs Stunden im Allgemeinen nicht weniger deutlich zu sehen sind, wie nach Adaptation von wenigen Minuten. (Dass die Sättigung der Farben eine geringere ist wegen der gesteigerten Weisempfindlichkeit des dunkeladaptierten Auges, bedarf keiner neuen Erörterung.) v. Kries hat bei vielen hierhergehörigen Versuchen keine Rücksicht darauf genommen, dass für das stark dunkeladaptierte Auge das Reizlicht eine beträchtlich grössere scheinbare Helligkeit besitzt (s. o.). Ich habe bei meinen systematischen Versuchen selbstverständlich durch entsprechende Verminderung des Reizlichtes diesem Umstande Rechnung getragen. Ich muss es dahingestellt sein lassen, ob der erwähnte Umstand genügt, um die abweichenden Angaben von v. Kries zu erklären. Hamaker kommt zu dem Ergebnisse, dass die complementär gefärbte Strecke „besonders bei einem gewissen Grade von Dunkeladaptation“ deutlich werde; wenn er eine Viertelstunde lang im Finstern oder in äusserst schwachem Lichte sich aufgehalten hatte, wurde hauptsächlich die fragliche Phase (von ihm „Satellit“ genannt) viel besser gesehen. Bei Versuchen mit unbewegter Lichtquelle giebt Hamaker an, dass nach Dunkeladaptation von 20 Minuten „die Erscheinung nicht eingreifend verändert“ wurde. Auch hier sind also die Hamaker'schen Ergebnisse mit den v. Kries'schen nicht in Einklang.

Meine neuen Untersuchungen haben somit, in Uebereinstimmung mit den früheren, ergeben, dass die Angaben von v. Kries, auf welche er seine Theorie stützt, weder bezüglich des fovealen Fehlens noch der Dunkeladaptation zutreffen, und dass sie bezüglich des Verhaltens bei rothem Lichte jedenfalls eine beträchtliche Einschränkung erfahren müssen.

IV. Ueber die Nachbilder bei total Farbenblinden.

v. Kries giebt an, dass eine von ihm untersuchte total Farbenblinde das nachlaufende Bild (Phase 3) nicht wahrnehmen konnte. Gelegentlich der Untersuchung einer total Farbenblinden hatten Hering und ich¹⁾ gefunden, dass, wenn nach einer Adaptation von wenigen Minuten ein schwach leuchtendes Glühlämpchen in einem Abstände von ca. $\frac{1}{2}$ m vor dem Auge rasch vorübergeführt wurde, die Dame „das Nachbild in Form eines leuchtenden Schweißes sah, der bei öfter wiederholten Versuchen für sie angenähert ebenso lange bestehen blieb, wie für ein normales Auge unter gleichen Bedingungen“²⁾.

Trotz dieser Angaben nimmt v. Kries an, „der scheinbare Widerspruch in Bezug auf die Wahrnehmung positiver Nachbilder durch total farbenblinde Personen“ könne aus der Benutzung zu hoher Lichtstärken unsererseits erklärt werden. v. Kries schreibt: „Dass diese (d. h. die total Farbenblinden) die umlaufenden Objecte bei höheren Lichtstärken in lange Schweife ausgezogen sehen, habe ich nie bezweifelt oder in Abrede gestellt.“ Wir aber hatten ausdrücklich angegeben, dass bei den fraglichen Versuchen ein schwach leuchtendes Glühlämpchen rasch vor dem Auge vorübergeführt wurde. Wie sich „bei höheren Lichtstärken“ die Erscheinungen verhalten, haben wir für die Farbenblinde überhaupt nicht untersucht.

Wenn schon damit allein auch diesem v. Kries'schen Einwande begegnet ist, so benutzte ich doch gern die mir kürzlich gebotene Gelegenheit, eine intelligente Patientin mit angeborener totaler Farbenblindheit nach der fraglichen Richtung eingehender zu untersuchen.

Bei der zwanzigjährigen Dame bestand beiderseits myopischer Astigmatismus mit schrägen Achsen ($-1,5 \subset \text{cyl.} -2,0 \text{ D}$). Nach Correction mit Gläsern war die Sehschärfe $= \frac{1}{5}$ der normalen. Am rechten Auge bestand merklicher Nystagmus, am linken trat ein solcher nur zeitweise und auch dann nur in äusserst geringem Grade auf. (Zu den im Folgenden beschriebenen Versuchen wurde vorwiegend dieses Auge benutzt.) Helles Licht verursachte der Patientin ein Gefühl von Blendung, so dass sie dann Alles verschwommen zu

¹⁾ Hess und Hering, Untersuchungen an total Farbenblinden. Pflüger's Archiv. Bd. LXXI. S. 105.

²⁾ Auch hier war Sorge getragen, dass vor Beginn und nach Schluss der Bewegung die Patientin sich im völlig dunklen Raume befand; das positive Nachbild (Phase 5) war im Allgemeinen einige Secunden lang sichtbar.

sehen angab. Die verschiedenen Pigmentlichter wurden angenähert so gesehen, wie in dem Falle, den v. Hippel mitgeteilt hat: Die der bezüglichen Abhandlung beigegebenen Gleichungen zwischen farbigen und grauen Papieren hatten annähernd auch für meine Patientin Gültigkeit. Die Macula lutea war ihr entoptisch in der bekannten Weise mittels blauer Gläser und Bewegung der ausgespreizten Finger vor dem Auge leicht sichtbar zu machen.

Ähnliche Versuche, wie wir sie bei Beschreibung des früher von uns untersuchten Falles von totaler Farbenblindheit eingehend erörtert haben, gestatteten auch hier den Nachweis, dass bei der total Farbenblinden ganz so wie im normalen Auge entsprechend der Stelle des directen Sehens sich ein Netzhautbezirk findet, der im dunkeladaptirten Auge für schwache Lichtreize relativ weniger erregbar ist, als die umgebenden Netzhautpartien. Kleine weisse Punkte auf dunklem Grunde erschienen bei Tagesbeleuchtung alle angenähert gleich hell, während bei stark herabgesetzter Beleuchtung die jeweils foveal gesehenen merklich weniger hell erschienen, als die anderen.

In einer ersten Versuchsreihe suchte ich, im Hinblick auf die v. Kries'schen Bemerkungen, die geringste Lichtstärke festzustellen, bei welcher die Patientin das länger dauernde Nachbild (Phase 5) überhaupt wahrnehmen konnte. Auf die dritte Phase wurde bei diesen Versuchen zunächst noch nicht geachtet. Die geringsten Lichtstärken, die für ein normales helladaptirtes Auge nöthig sind, damit das länger dauernde Nachbild eben sichtbar werde, genügten, um auch bei der total Farbenblinden ein annähernd ebenso langdauerndes, deutliches Nachbild zu erzeugen. Dabei gab die Dame stets an, dass der Nachbildstreif der primären Erregung nicht unmittelbar folge, sondern durch einen deutlichen dunkleren Zwischenraum von ihr getrennt sei. Die Lichtquelle bestand bei diesen Beobachtungen aus einem in einer lichtdichten Hülse eingeschlossenen Glühlämpchen, dessen Strahlen durch eine vor ihm angebrachte Convexlinse parallel gemacht, auf eine runde Milchglasplatte von ca. 2 cm Durchmesser fielen. Die Lichtstärke konnte durch eingeschalteten Rheostaten variirt und insbesondere auch äusserst gering gemacht werden. Stets war Sorge getragen, dass das Lämpchen nur während der Bewegung erglühte, so dass die Patientin vor Beginn und nach Schluss der Reizung im völlig dunklen Raume sich befand.

v. Kries könnte gegen diese Versuche vielleicht einwenden wollen, der Begriff „sehr geringe Lichtstärke“ möchte individuell beträchtlich ver-

schieden sein. Daher seien einige Versuche angeführt, gegen die ein solcher Einwand kaum erhoben werden kann. Selbst so geringe Lichtstärken, wie sie bei Benutzung der gewöhnlichen Leuchtfarbe in Betracht kommen, genügen, um, bei richtiger Versuchsanordnung, ein durch ein dunkleres Intervall von der primären Erregung getrenntes und über eine Secunde lang sichtbares Nachbild hervorzurufen: wenn ich einen mit gewöhnlicher Leuchtfarbe bestrichenen runden Fleck von ca. $\frac{1}{2}$ cm Durchmesser, der unmittelbar vorher dem diffusen Tageslichte ausgesetzt war, an meinem nur kurze Zeit für Dunkel adaptirten Auge vorbeiführe, so ist der positive Nachbildstreif über eine Secunde lang sichtbar. Danach war auch noch das letzte negative Nachbild (Phase 6) als dunkler Streifen in etwas hellerer Umgebung kurze Zeit sichtbar. Dass Letzteres nicht etwa eine Eigenthümlichkeit meiner Augen ist, geht unter Anderem schon daraus hervor, dass ein College, ohne zu wissen, worauf es ankam, bei Anstellung der Versuche sofort diese Phase richtig beobachtete. Damit nicht der Einwand gemacht werde, ich hätte besonders lichtstarke Leuchtfarbe zur Verfügung gehabt, sei bemerkt, dass ich die geschilderten Nachbilder in voller Deutlichkeit auch sah bei Benutzung der mit Leuchtfarbe bestrichenen Platte eines der käuflichen Zündholzständer, der, seit Jahren in Gebrauch, wohl kaum besondere Lichtstärke besitzen dürfte. Für viele Versuche benutzte ich ein ca. 10 cm langes, mit Leuchtfarbe gefülltes Glasrohr von ca. 1 cm Durchmesser, das ich vom Händler vor Jahren bezogen habe. Es wurde vor Beginn der Versuche dem diffusen Tageslichte oder dem Lichte eines Auerbrenners ausgesetzt.

Die scheinbare Helligkeit der Leuchtfarbe war unter den geschilderten Umständen merklich geringer, als z. B. die Gluth einer glimmenden Cigarette. Auch die total Farbenblinde sah sofort bei den ersten Versuchen einen langen, von der primären Erregung durch einen deutlichen dunklen Zwischenraum getrennten Nachbildstreifen.

Bei einer weiteren Versuchsreihe wurde das Augenmerk wesentlich auf die dritte (der complementär gefärbten Strecke des Farbensüchtigen entsprechende) Phase des Nachbildverlaufs gerichtet. Es zeigte sich bald, dass auch diese bei passender Lichtstärke des Reizlichtes von der total Farbenblinden wahrgenommen wird. Um eine angenäherte Vorstellung von den hierbei benutzten Lichtstärken zu geben, sei erwähnt, dass die Dame u. A. nach kurzem Aufenthalte im Dunkeln bei Bewegung einer hellglimmenden Cigarette die Erscheinung mit voller Deutlichkeit sah: Sie beschrieb nach Abklingen der primären Erregung ein sehr kurzes dunkles Intervall, danach eine ziemlich helle Strecke, die aber weniger hell als die der primären Erregung entsprechende erschien, danach das längere Intervall (Phase 4), hierauf die lange helle Strecke und nach ihr noch eine dunkle Linie in etwas hellerer Umgebung. Ich habe den Versuch theils mit der Cigarette, theils mit dem Glühlämpchen bei verschiedenen Lichtstärken

oft angestellt, mit stets gleichem Ergebnisse, so lange die Lichtstärken nicht zu sehr gesteigert oder vermindert wurden.

Eine weitere Beobachtungsreihe stellte ich zur Untersuchung des fovealen Sehens der total Farbenblinden an. Ich benutzte dazu, um den möglicherweise störenden Einfluss des geringen Nystagmus auszuschalten, die oben geschilderte Methode mit momentaner Belichtung. Bei Auslösen des lichtdicht vor das Auge gehaltenen Momentverschlusses ist die grosse schwarze Fläche mit in regelmässigen Abständen von einander angebrachten, mässig hellen Löchern sichtbar. Wird eben im Momente der Belichtung eine Augenbewegung gemacht, so erscheinen an Stelle der runden Scheiben kurze, helle Striche; die Nachbilder sind dann im Allgemeinen nicht weniger gut zu beobachten. Die Patientin gab regelmässig an, im Augenblicke der Belichtung die hellen Scheiben (bezw. Striche) in der ganzen Fläche gleichmässig vertheilt zu sehen. Während des länger dauernden, durch ein deutliches dunkleres Intervall von der primären Erregung getrennten Nachbildstadiums (Phase 5) waren wiederum alle hellen Felder in ihrer regelmässigen Anordnung deutlich zu sehen. Die Beobachtungen wurden in verschiedenen grossen Entfernungen mit verschiedenen Grössen und verschiedenen gegenseitigen Abständen der Scheibchen vorgenommen, im Allgemeinen unter solchen Bedingungen, dass im normalen Auge durchschnittlich mehrere der Scheibchen völlig in fovealem Gebiete sich abbildeten. Die Untersuchung zeigt, dass auch bei dieser total Farbenblinden eine dem fovealen Bezirke entsprechende vollständig blinde Netzhautstelle von irgend nennenswerther Ausdehnung nicht vorhanden ist. Denn eine solche müsste unter den geschilderten Umständen bei häufiger Wiederholung des Versuchs sich durch den Ausfall eines oder mehrerer der hellen Felder kundgeben, was nicht leicht der Beobachtung entgehen kann.

Die im Vorstehenden geschilderten Versuche haben somit unsere früheren Befunde bezüglich des Verhaltens der Nachbilder und des fovealen Sehens der total Farbenblinden bestätigt; sie haben ferner gezeigt, dass auch bei den geringsten zur Erzeugung der fraglichen Nachbilder nothwendigen Lichtstärken der Typus des Abklingens dieser bei der total Farbenblinden (bis auf die Farben) mit jenem beim Farbentüchtigen durchaus übereinstimmt.

In seinen früheren Abhandlungen hatte v. Kries ausschliesslich die Möglichkeit erörtert, dass bei der in Frage stehenden Form der totalen Farbenblindheit „lediglich Mangel oder Functionsunfähigkeit des Zapfenapparates vorliegt, während die sonstigen Verhältnisse

insbesondere die räumliche Vertheilung der Stäbchen, mit der Norm übereinstimmen“. In seiner letzten Abhandlung bespricht v. Kries aber auch die (vorher von uns discutirte) Möglichkeit, „dass überall statt der Zapfen Stäbchen gebildet werden, und dass also u. A. ein der normalen Fovea entsprechender blinder Bezirk, ein Skotom, nicht existirt“. Weiter sagt jetzt v. Kries:

„Die inzwischen gemachten Erfahrungen machen auch mir wahrscheinlich, dass in gewissen Fällen von angeborener totaler Farbenblindheit von den mehrerwähnten Möglichkeiten nicht die erste, sondern die zweite verwirklicht ist.“

Auch diese Hypothese ist durch unsere frühere Untersuchung bereits widerlegt. Im Hinblick auf die Möglichkeit, dass eine solche, von der früheren grundverschiedene Annahme gemacht werden könnte, haben wir bereits an den früher von uns untersuchten Fällen von totaler Farbenblindheit das foveale Sehen bei stark herabgesetzter Beleuchtung untersucht und gefunden, dass unter diesen Verhältnissen eine relativ geringere Erregbarkeit des fovealen Bezirkes, ganz wie beim Normalen, nachweisbar ist. Nach der neuen v. Kries'schen Hypothese dürfte aber eine solche relativ geringere Erregbarkeit der Fovea nicht vorhanden sein, denn der foveale Bezirk unterscheidet sich ja nicht mehr durch Fehlen der Stäbchen, bezw. geringeren Purpurgehalt von der Umgebung, wenn überall statt der Zapfen Stäbchen vorhanden sind. Also auch die neue v. Kries'sche Annahme zur Erklärung der totalen Farbenblindheit steht mit den That- sachen in Widerspruch.

V. Theoretisches.

Aus dem vorstehend Mitgetheilten ergibt sich, dass die v. Kries'schen Beobachtungen schon wegen ihrer Unvollständigkeit theoretischen Erörterungen nicht wohl zu Grunde gelegt werden können. In Anlehnung an die v. Kries'sche Hypothese hat Hamaker die Nachbilderscheinungen zu deuten versucht. Er äussert auch bereits die Vermuthung, dass v. Kries den länger dauernden gleichgefärbten Nachbildstreifen „gar nicht gesehen zu haben scheine, da er absolut nicht davon spreche“¹⁾.

Meine Angaben über Dauer und Färbung dieser Phase (5) konnte Hamaker vollständig bestätigen, nachdem er die von mir angedeu-

¹⁾ Wenn Hamaker den gleichen Vorwurf auch gegen Bidwell erhebt, so ist dies insofern nicht zutreffend, als Bidwell wenigstens den langen hellen Nachbildstreifen gesehen und beschrieben hat (s. o. S. 232).

teten Fehler der früheren Beobachter vermieden hatte; doch konnte er bei Versuchen mit einem bewegten Lichtpunkte keine Sicherheit darüber bekommen, ob diese Phase in der Fovea fehle, und sah dabei auch die nachfolgende dunkle Phase (6) nicht.

Bei Versuchen mit unbewegtem Objecte und leuchtendem, foveal abgebildetem Fixirlichte konnte Hamaker in der Fovea das länger dauernde positive Nachbild (Phase 5) nicht wahrnehmen. Zur Reizung benutzte er eine mit homogenem Lichte erfüllte Fläche, „deren Netzhautbild ebenso gross war, wie die eines quadratischen Objectes von $2\frac{1}{2}$ mm Seitenlänge in 20 cm Abstand“; die Belichtung dauerte dabei eine Secunde lang. Die positive complementär gefärbte Nachbildphase (3) sah Hamaker in der Fovea bei einigen Versuchsreihen wenigstens bei Anwendung rothen und grünen Reizlichtes. Er bemerkt dazu später: „Doch ist es sehr gut möglich, dass auch bei den übrigen Farben ein solcher Process sich abspielt, aber so schnell, dass er durch mein ziemlich träge reagirendes Sehorgan nicht wahrgenommen wird.“

Während wir also die rein thatsächlichen Befunde bei Hamaker wesentlich vollständiger und zum Theile auch richtiger wiedergegeben finden, als bei v. Kries, zeigen sich bei deren theoretischer Deutung ähnliche Widersprüche mit den Thatsachen wie dort: Hamaker nimmt an, dass am Zustandekommen sowohl der gegenfarbigen Nachbildstrecke (Phase 3), als der gleichfarbigen (Phase 5) die Stäbchen und Zapfen betheiligt seien. Für die gegenfarbige Nachbildstrecke (Phase 3) giebt Hamaker an, dass sie in der Fovea sehr dunkel und viel deutlicher complementär sei, als ausserhalb der Fovea, er findet sie bei Anwendung rothen Reizlichtes gesättigt grün „wirklich sehr dunkel“. Ich habe oben erwähnt, dass bei meinen Versuchen ein nennenswerther Unterschied der fovealen von den extrafovealen Nachbildern in Bezug auf Helligkeit und Sättigung nicht festzustellen war.

Auch für die gleichgefärbte positive Nachbildstrecke (Phase 5) ergibt sich nach Hamaker's Auffassung eine grosse Schwierigkeit der Deutung. Zur Erklärung der complementären Färbung der dritten Nachbildphase hat v. Kries Folgendes angenommen: „Mit allem, was wir sonst wissen, wird es im Einklang sein, dass in dem trichromatischen Apparat alsbald nach Beendigung des farbigen Lichtreizes ein negativ complementäres Nachbild entsteht.“ Um hiernach die mit der Färbung des Reizlichtes übereinstimmende Farbe der länger dauernden fünften (von v. Kries übersehenen) Phase zu erklären, müsste man zunächst

annehmen, dass nach Abklingen jenes negativ complementären Nachbildes im trichromatischen Apparate wieder ein gleichfarbiges Nachbild aufträte. Aber selbst dann würde man wiederum mit den Thatsachen in Widerspruch kommen. Denn es müsste danach die gleichfarbige Nachbildstrecke (Phase 5) nach Reizung mit farbigem Lichte im fovealen Bezirke in einem ausserordentlich gesättigten Farbertone gesehen werden, während sie extrafoveal weisslich erscheint. Wir haben aber zeigen können, dass sie foveal nicht wesentlich anders, insbesondere nicht gesättigter gesehen wird, als auf den extrafovealen Partien. Hiermit ist zugleich die Unhaltbarkeit der Erklärung Hamaker's dargethan. Denn da auch er monochromatische und trichromatische Processe annimmt, so müsste auch nach seiner Auffassung die foveale, nur durch Zapfen vermittelte Nachbildstrecke sehr viel gesättigter erscheinen, als die extrafoveale.

Nach der Theorie der Gegenfarben lassen die Nachbilderscheinungen sich in befriedigender Weise erklären. Dass eine negative Phase der farbigen Nachwirkung mit einer positiven der farblosen zusammenfallen kann, wurde schon früher erörtert. Bei meinen früheren Untersuchungen hatte ich nur das Auftreten einer in Bezug auf Farbe und Helligkeit negativen Phase zwischen dem länger dauernden gleichfarbigen Nachbild und der primären Erregung erörtert. Aus den neueren Beobachtungen geht hervor, dass man bei geeigneter Versuchsanordnung und nicht allzu geringer Lichtstärke diese beiden Phasen (1 und 5) durch zwei dunklere Phasen getrennt sehen kann. Bezüglich der farbigen Componente nahm ich im Allgemeinen eine gegenfarbige Phase wahr, durch deren zeitliches Zusammenfallen mit der ersten positiven Nachwirkung der farblosen Reizcomponente die gegenfarbig positive Phase (3) entsteht¹⁾.

VI. Zusammenfassung.

1. Bei Beobachtung der Nachbilder nach kurzdauernder Reizung des Sehorgans hat v. Kries einen grossen Theil der hierbei sichtbaren Erscheinungen übersehen, nämlich das der gegenfarbig positiven Nachbildphase folgende leere Intervall, das länger dauernde gleichfarbig positive Nachbild und die diesem folgende dunkle Phase.

2. Diese drei Phasen bilden einen integrierenden Bestandtheil des ganzen Nachbildverlaufes: Sie sind bei richtiger Versuchsanordnung während mehrerer Secunden bei allen, auch bei den geringsten

¹⁾ Eine nach Abschluss der vorliegenden Arbeit erschienene Abhandlung von Munk konnte leider nicht mehr berücksichtigt werden; sie beschäftigt sich ausschliesslich mit den bei unbewegtem Objecte wahrnehmbaren Erscheinungen.

Lichtstärken zu sehen, bei welchen das von v. Kries allein beschriebene gegenfarbig positive Nachbild noch sichtbar ist.

3. Der Typus des Abklingens der Erregung ist im fovealen Gebiete kein wesentlich anderer, als im extrafovealen. Insbesondere ist die gegenfarbig positive Nachbildphase auch im fovealen Bezirke sichtbar; sie erscheint hier für das helladaptirte Auge im Allgemeinen in angenähert gleicher Sättigung und in gleicher oder nur wenig geringerer Helligkeit, als auf dem extrafovealen Gebiete.

4. Die verschiedenen Phasen des Nachbildverlaufes waren auch bei Anwendung der von mir benutzten rothen Gläser bei passender Lichtstärke im Allgemeinen in analoger Weise sichtbar, wie bei andersfarbigem Reizlichte. (Bei Benutzung sehr gesättigt rothen Lichtes kann die dritte Phase in ähnlicher Farbe gesehen werden, wie das Reizlicht.)

5. Sämmtliche Phasen des Nachbildverlaufes sind nach mehrstündiger Dunkeladaptation in ganz ähnlicher Weise zu sehen, wie nach einer Adaptation von wenigen Minuten, sofern der gesteigerten Lichtempfindlichkeit des Auges durch Verminderung der Lichtstärke des Reizlichtes Rechnung getragen ist. Insbesondere fällt die dritte Phase nach langdauernder Dunkeladaptation nicht fort.

6. Für die neuerdings von mir untersuchte total Farbenblinde waren sämmtliche Phasen des Nachbildverlaufes in einer bis auf das Fehlen der Farben mit jener beim Farbentüchtigen übereinstimmenden Weise sichtbar. Auch bei den geringsten Lichtstärken, die beim Farbentüchtigen zur Erzeugung eines Nachbildes nöthig sind, zeigte der Nachbildverlauf bei der total Farbenblinden den gleichen Typus, wie beim Normalen. Die neue v. Kries'sche Annahme, wonach beim total Farbenblinden überall statt der Zapfen Stäbchen gebildet sein sollen, steht ebenso wie seine ursprüngliche Hypothese mit den von uns nachgewiesenen Thatsachen in Widerspruch.

7. Bei der von v. Kries vorwiegend benutzten Versuchsanordnung kommen im Wesentlichen folgende Fehlerquellen in Betracht:

- a. dauernde Sichtbarkeit des Reizlichtes,
- b. dauernde Sichtbarkeit des Fixirlichtes,
- c. viel zu schnelle Aufeinanderfolge der einzelnen Reizungen,
- d. rasche Ermüdung der Netzhaut, indem die folgenden Reize immer wieder die gleiche Netzhautstelle treffen, wie die früheren.

8. Die von mir mitgetheilten Thatsachen stehen in Widerspruch mit der v. Kries'schen Hypothese über die Function der Stäbchen und Zapfen, sowohl in deren älterer wie in der neueren Fassung.