

(Aus dem Physiologischen Institut Freiburg i. Br.)

Kritische Bemerkungen zur Farbentheorie.

Von

J. VON KRIES.

Im Laufe des letzten Jahres ist die Stäbchentheorie auch von Seiten HERING's und seiner Schüler in einigen Arbeiten discutirt worden.¹ Ich möchte es nicht länger hinausschieben auf diese Erörterungen mit einigen Bemerkungen einzugehen, schon weil einige Mißverständnisse der sich vielleicht anbahnenden Klärung entgegenzustehen scheinen. Im Uebrigen beschränke ich meine Erwiderungen auf das Nothwendigste und unterlasse die Erörterung so mancher relativ unerheblicher Punkte, in denen gegen mich gerichtete Einwendungen mir unbegründet erscheinen.

Was zunächst die angeborene totale Farbenblindheit anlangt, so habe ich im Sinne der erwähnten Theorie die mit dieser Anomalie behafteten Personen als „Stäbchenseher“ aufgefaßt. Es giebt aber weder von meiner Meinung noch von dem, was ich geschrieben habe, eine zutreffende Vorstellung, wenn HERING und HESS (a. a. O. S. 108) ohne jede Einschränkung oder Erläuterung mir die Annahme zuschreiben, daß die Zapfen mangeln, „während die räumliche Vertheilung der Stäbchen mit der Norm übereinstimmt“.

¹ HERING und HESS, Untersuchungen an total Farbenblinden. PFLÜGER's *Archiv* LXXI, S. 105.

HESS, Experimentelle Untersuchungen über die Nachbilder bewegter leuchtender Punkte. *Archiv f. Ophthalmologie* XLIV, S. 445.

TSCHERMAK, Ueber die Bedeutung der Lichtstärke und des Zustandes des Sehorgans für farblose optische Gleichungen. PFLÜGER's *Archiv* LXX, S. 297.

Auf dem Boden der Stäbchenhypothese überhaupt und der Annahme, daß die total Farbenblinden Stäbchenseher seien, habe ich jenes Verhalten vielmehr als eine der Möglichkeiten für die speciellere Durchführung dieser Ansicht angesehen. Die von HERING und HESS citirte Stelle lautet vollständig:

„Zunächst scheint daher die Annahme nicht ausgeschlossen, daß in den erwähnten Fällen von totaler Farbenblindheit lediglich Mangel oder Functionsunfähigkeit des Zapfenapparats vorliegt, während die sonstigen Verhältnisse, insbesondere die räumliche Vertheilung der Stäbchen mit der Norm übereinstimmen.

Selbstverständlich aber wird erst eine genauere Untersuchung der Monochromaten hierüber bestimmteren Aufschluß geben können.“¹

Auf eine detaillirte Erörterung noch anderer Möglichkeiten einzugehen hatte ich, in Ermangelung entscheidender Beobachtungen von der zuletzt angeführten Art kaum Veranlassung, umsoweniger, als sachlich wohl Folgendes ziemlich selbstverständlich ist. Eine Uebereinstimmung des den total Farbenblinden eigenen Sehapparats mit dem Dunkelapparat des Normalen, und zwar eine ganz vollständige, auch hinsichtlich der localen Anordnung, Sehschärfe etc., wäre dann zu erwarten, wenn die „angeborene“ totale Farbenblindheit auf einer Functionsunfähigkeit des von Haus aus angelegten Zapfenapparats, etwa durch eine Bildungshemmung, eine intrauterine Erkrankung o. dgl. beruhte. Wenn dagegen die ganze Affection eine Bildungs-Anomalie im eigentlichen Sinne darstellt, also aus unbekannten Gründen von vornherein nur Stäbchen (statt normaler Weise Zapfen und Stäbchen) gebildet werden, so ist jene Erwartung natürlich keineswegs eine selbstverständliche; es ist vielmehr ebenso gut möglich, daß überall statt der Zapfen Stäbchen gebildet werden und daß also u. A. ein der normalen Fovea entsprechender blinder Bezirk, ein Skotom, nicht existirt. Wie sich also die total Farbenblinden bez. der localen Verhältnisse der Sehschärfe, des Skotoms etc. verhalten würden, erschien mir stets als eine Frage, deren Beantwortung sowohl im einen wie im anderen Sinne mit der aus der Stäbchentheorie sich ergebenden Deutung der totalen Farbenblindheit durchaus vereinbar ist; und diese Ansicht ist in der von HERING und HESS partiell

¹ *Centralblatt für Physiologie* VIII, S. 696.

citirten Stelle auch bereits deutlich genug ausgesprochen. — 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. Die Hauptfrage, auf die es dabei ankommt, die der Existenz eines centralen Skotoms, ist freilich von der Art, daß es recht schwierig ist, sie in überzeugender Weise im verneinenden Sinne zu beantworten. Doch bin ich bez. der beiden Fälle, die ich untersuchen konnte, auch eher geneigt anzunehmen, daß ein Skotom nicht vorhanden ist. In dem einen Fall (Marie Binder), über den ich in anderer Beziehung berichtet habe, war es mir wegen des leichten Nystagmus nicht möglich, zu einer ganz sicheren Ueberzeugung zu gelangen. Das junge Mädchen aus Grindelwald, welches HERING und HESS erwähnen, und an dem durch die Güte des Herrn Collegen PFLÜGER in Bern auch ich einige Beobachtungen anstellen konnte, zeigte (wie M. Binder) sehr gute Beobachtungsfähigkeit, und nur einen sehr geringen Nystagmus. Wenn ich auch mich nicht geradezu für das Fehlen des Skotoms verbürgen möchte, so kann ich doch jedenfalls sagen, daß die Beobachtungen für die Annahme eines solchen keinerlei Anhalt gewährten. Für beide Fälle würde ich also eine abnorme Bildung des Sehorgans, der zu Folge auch die normaler Weise nur mit Zapfen ausgerüsteten Theile Stäbchen führen, anzunehmen geneigt sein. Ob dies für alle Fälle sich ebenso verhält, muß übrigens im Hinblick auf die bestimmten Angaben KÖNIG's zunächst dahingestellt bleiben.

Ogleich nach dem Gesagten auch die Vergleichung der excentrischen Sehschärfen nur mit Vorsicht theoretisch verwerthet werden kann, füge ich doch auch in dieser Beziehung einige Bemerkungen hinzu, weil die Darstellung von HERING und HESS mehrfach unzutreffend ist. Diese sagen (a. a. O. S. 122):

„Wenn wirklich die von v. KRIES sogenannte „Stäbchensehschärfe“ von 10—60° Excentricität unverändert bleibt, wie dies KÖSTER, wenigstens für den horizontalen Netzhautmeridian, angiebt und mit der KRIES'schen Anschauung im Einklang findet, so müßte auf dem ganzen entsprechenden Gebiete die GröÙe und der gegenseitige Abstand, bei welchem die Scheibchen eben als zwei wahrgenommen werden, nahezu constant sein. Dies ist aber nicht der Fall.“

Niemand kann verstehen, weshalb hier die Stäbchentheorie

ausschließlich durch einen Befund KÖSTER's repräsentirt wird, den dieser „mit der KRIES'schen Anschauung im Einklang findet“. Ich selbst habe mit BUTTMANN gefunden, daß die theoretisch als Stäbchensehschärfe zu bezeichnende Function vom blinden Flecken bis zur äußersten Peripherie des temporalen Gesichtsfeldes nahezu ebenso absinkt wie die „Hellsehschärfe“. Nichts Anderes besagt ja der Satz, daß für alle diese Theile Hell- und Dunkelsehschärfe übereinstimmen.¹ Daß also hier die Sehschärfe des total Farbenblinden „analog“ wie beim Normalsehenden abnimmt, kann ich weder überraschend noch mit meinen Anschauungen unvereinbar finden. Ich muß ferner bemerken, daß H. und H. mir mit Unrecht einen Schluss zuschreiben, der nur unter der „nicht eben wahrscheinlichen Voraussetzung“ zulässig wäre, daß die Stäbchensehschärfe innerhalb enorm weiter Grenzen unabhängig ist von der Stärke der Beleuchtung“. Ich habe vielmehr mit aller Vorsicht gesagt:

„Ohne also zur Zeit einen positiven Schluss ziehen zu wollen, können wir es wohl als beachtenswerth bezeichnen, daß die Stäbchensehschärfe der Normalsehenden und die Sehschärfe jener total Farbenblinden sich innerhalb ähnlicher (nicht einmal sehr weiter) Grenzen, etwa zwischen $\frac{1}{4}$ und $\frac{1}{10}$ bewegt.“²

Im Uebrigen sage ich selbst, daß die Beurtheilung dadurch verwickelt wird, daß die excentrische Sehschärfe, wenn auch nur sehr langsam, doch merklich abnimmt, wenn man die Beleuchtung unter den für centrales Verschwinden erforderlichen Werth noch sehr verkleinert. (A. a. O. S. 696.)

Ich habe mir den Sachverhalt also nie anders vorgestellt als so, wie ihn neuerdings auch KÖNIG auseinanderlegt, daß für den Dunkelapparat und den Hellapparat eine Abhängigkeit der Sehschärfe von der Beleuchtung existirt, die durch analoge Functionen nur mit ungemein verschiedenen Constanten dargestellt wird. Als selbstverständlich aber möchte ich nicht einmal das gelten lassen, daß diese Abhängigkeiten für den einzelnen Apparat an allen Netzhauttheilen die gleichen sind. So darf man z. B. auch den Befund von BUTTMANN und mir, daß von $4-12^{\circ}$ die Dunkelsehschärfe

¹ v. KRIES, Ueber die Abhängigkeit centraler und peripherer Sehschärfe von der Lichtstärke. *Centralblatt für Physiologie* VIII, S. 695.

² *Centralblatt für Physiologie* VIII, S. 696.

annähernd constant bleibt, nicht vorschnell verallgemeinern. Bei sehr stark herabgesetzter Beleuchtung könnte ohne Zweifel ein Steigen der Sehschärfe mit zunehmender Excentricität demonstriert werden, und bei stärkerer würde vielleicht auch die Stäbchensehschärfe sich umgekehrt verhalten. Man darf doch nicht vergessen, daß wir beim Normalsehenden die Stäbchensehschärfe nicht in hohen Beleuchtungen untersuchen können. Die Annahme bez. der Function der Stäbchen so zu schematisiren, wie es H. und H. mir ohne Grund zuschreiben, als ob sie innerhalb enorm weiter Grenzen von der Beleuchtung gar nicht abhinge, liegt gar kein Anlaß vor.

Nach meiner theoretischen Auffassung habe ich es ferner stets für selbstverständlich gehalten, daß das Verhältniß der Hell- und der Dunkelsehschärfe an einer bestimmten excentrischen Netzhautstelle individuell einigermaßen schwankend sein wird; es wäre mehr als merkwürdig, wenn es absolut fixirt wäre. Thatsächlich scheint KÖSTER für die Dunkelsehschärfe etwas höhere, BLOOM und GARTEN¹ etwas geringere Werthe als für die Hellsehschärfe an gleicher Stelle zu erhalten, während BUTTMANN und ich nur ganz geringe, die Fehler kaum übersteigende Differenzen constatirten; daß aber die Aenderung der Sehschärfe bei sehr starker Lichtverminderung peripher sich völlig anders verhält als central, daß die Peripherie mit ihren Leistungen für einen ganz anderen Spielraum der Beleuchtungen eingerichtet ist: das bleibt doch unzweideutig bestehen.² —

Trotz dieser einer ganz directen und einfachen theoretischen Verwerthung entgegenstehenden Hindernisse bieten übrigens die

¹ BLOOM und GARTEN, Vergleichende Untersuchungen über die Sehschärfe des hell- und des dunkeladaptirten Auges. PFLÜGER'S *Archiv* LXXII, S. 372.

² Uebrigens sei schließlicb erwähnt, daß auch die neuerlich von BLOOM und GARTEN (a. a. O.) gemachten Mittheilungen mir stark für die Duplicität des betheiligten Apparats zu sprechen scheinen. Nach unitarischer Auffassung war doch ohne Zweifel zu erwarten, daß man im hell- und im dunkeladaptirten Auge die gleichen Sehschärfen erhalten werde, wenn die Lichtstärken so gewählt würden, daß die gesehene Helligkeit etwa auf den gleichen Werth sich stellte. Es ist eine gewiß beachtenswerthe Thatsache, daß in jenen Beobachtungen dies nicht der Fall war. Es ist schwer zu sehen, welchen Angriffspunkt die unitarische Auffassung hier für eine Erklärung finden kann.

von H. und H. mitgetheilten Thatsachen manches Beachtenswerthe.

Es heisst (a. a. O. S. 122): „Aus den bei Frl. F. mit helladaptirtem Auge vorgenommenen Messungen geht hervor (s. Tabelle), daß das Unterscheidungsvermögen bei ihr vom Centrum nach der Peripherie allmählich abnimmt. Vergleichende Messungen ergaben, daß die Abnahme in ganz analoger Weise stattfindet, wie in meinem (Hess) normalen Auge. Die Unterschiede zwischen den an ihrem und an meinem Auge gefundenen Zahlen liegen innerhalb der Fehlergrenzen.“

Wenn ich den letzten Satz nicht mißverstehe, so besagt er wohl, daß in der Peripherie (von etwa 10° ab) die Sehschärfe des total farbenblinden und des normalen Auges nahe übereinstimmen. Da nun central die Sehschärfe des total farbenblinden eine viel geringere ist, so ist denn doch die „Analogie“ der vom Centrum gegen die Peripherie hin stattfindenden Abnahme keine vollständige. Dies bestätigen und erläutern die weiteren Angaben (S. 123). Frl. F. konnte central den Haken von 2 mm Seitenlänge, aus 24 cm Entfernung betrachtet, noch sicher erkennen; doch ist dies wohl der Grenze schon nahe gewesen (da er bei Momentanbeleuchtung nur noch ein Mal unter 6 Malen erkannt wurde). Bei $1^\circ 40'$ Excentricität war der 3 mm-Haken leicht, bei $4^\circ 40'$ „sehr mühsam“ zu erkennen. Darnach ist beim Uebergange vom Centrum zum Abstände $1^\circ 40'$ die Sehschärfe etwa auf $\frac{2}{3}$, zu $4^\circ 40'$ wohl auch nur wenig mehr abgesunken. Im normalen Auge sinkt bei diesen Excentricitäten die Sehschärfe schon viel stärker.

Wenn H. und H. sagen (S. 123), daß das räumliche Unterscheidungsvermögen der Farbenblinden in analoger Weise vom Centrum nach der Peripherie abnimmt, wie bei uns, so legt diese Formulirung jedenfalls die Auffassung sehr nahe, daß die Sehschärfe des Farbenblinden überall etwa den gleichen Bruchtheil von der normalen darstelle. Dies scheint nach dem Obigen ganz und gar nicht der Fall zu sein. Der Unterschied beschränkt sich vielmehr auf einen mäßigen centralen Bezirk, innerhalb dessen die Sehschärfe des Farbenblinden geringer ist und viel langsamer abnimmt, während sie außerhalb die gleichen Werthe zeigt, wie beim Normalen.

Nicht minder unzutreffend ist es, wenn die Verff. einen Widerspruch gegen meine Annahmen daraus herleiten wollen,

daß auch das total farbenblinde Auge, dunkeladaptirt, central geringere Lichtempfindlichkeit besitze. Weil nach mir, wie sie sagen, die centrale Minderempfindlichkeit „lediglich dadurch bedingt sein soll, daß die Netzhaut an dieser Stelle nur Zapfen enthält“, schreiben sie mir die Meinung zu, daß alle überhaupt stäbchenhaltigen Theile gleiche Empfindlichkeit besitzen müßten.

Ich wüßte nicht, welche Stelle meiner Arbeiten berechtigen könnte, mir diese Annahme, die alle Möglichkeiten verschiedener Leitungsverhältnisse, verschiedenen Purpureichthums u. s. w. schlechtweg ignorirte, auch nur als Vermuthung, geschweige als nothwendiges Requisit der Stäbchentheorie zuzuschreiben.

Auch das endlich ist eine von HERING und HESS mir zugeschriebene, von mir aber niemals ausgesprochene Meinung, daß der total Farbenblinde in hellerer Beleuchtung wegen Einbuße an Sehpurpur nur dunkles Grau empfinden könne (a. a. O. S. 111). Ob die Adaptation für den Empfindungseffect die Wechsel der Beleuchtung ganz oder theilweise compensire oder übercompensire (wie H. und H. ohne jeden Grund postuliren), darüber habe ich nie eine Meinung ausgesprochen. M. E. beruht das schlechte Sehen des total Farbenblinden in hellem Licht auf der hochgradigen localen Adaptation und dem sehr langen Nachdauern der Reize; daher die Klage, daß ihnen „Alles verschwimmt“, wie Marie Binder immer angab, wenn man eine Erklärung für die Abneigung gegen starke Beleuchtung sich ausbat. Für den Normalen ist dies nicht der Fall, weil die Reizungseffecte der Zapfen in einem großen Uebergewicht sind.

Wenn daher H. und H. sagen: „Die von v. KRIES betreffs der total Farbenblinden entwickelten Ansichten haben sich somit sämmtlich nicht bestätigt“, so darf ich dazu bemerken, daß es sich dabei um eine Ansicht handelt, die ich sehr ausdrücklich nur als eine zunächst möglich erscheinende bezeichnet habe, im Uebrigen aber um eine Anzahl von Ansichten, die die Verff. ohne mir ersichtliche Berechtigung in die Stäbchentheorie hineinconstruirt haben.

Die Angaben von H. und H. sind leider nur sehr kurz in Bezug auf den Punkt, über den Genaueres zu erfahren besonders interessant gewesen wäre, nämlich die bei den total Farbenblinden ermittelte Abhängigkeit der Sehfunction von der Helligkeit. Es wurde „in verschiedener Weise festgestellt, daß die Sehschärfe bei Fr. F. um so kleiner wurde, je weiter die Lichtstärke unter das

für sie günstigste Maafs herabgesetzt wurde. So vermochte sie bei Abenddämmerung und 20 cm Abstand vom Auge JÄGER Nr. 11 nur noch langsam zu lesen und bei noch stärkerer Herabsetzung der Beleuchtung nur noch Nr. 14.“ (S. 124.) Das ist freilich nicht überraschend. Aber wie hell mag jenes günstigste Maafs, wie hell die Abenddämmerung, wie hell die noch stärker herabgesetzte Beleuchtung gewesen sein? Nach anderen Erfahrungen an total Farbenblinden ist der Unterschied der Sehschärfe zwischen ihnen und den Normalen bei herabgesetzten Beleuchtungen nicht mehr zu bemerken, also die Abhängigkeit der Function von der Helligkeit doch auch ganz anders als beim Normalen, eine Thatsache, die doch gewifs beachtenswerth ist. Die obigen Angaben sagen nicht, daß dies auch hier zutraf; aber sie schliessen es nicht aus.

Resumirt man, so kann gesagt werden, daß maximale Sehschärfe, locale Verhältnisse der Sehschärfe im centralen Bezirk, und Abhängigkeit der Sehschärfe von der Helligkeit sich beim total Farbenblinden ganz anders als beim Normalen verhalten. Und hier darf denn wohl auch gefragt werden, welche Erklärung wir denn für all dies haben, wenn die totale Farbenblindheit auf dem Fehlen der farbigen Sehsubstanzen beruhen soll, oder wie die hiernach weiter anzunehmende Modification der „schwarz-weißen Sehsubstanz“ greifbar gemacht werden soll. Die Verff. erwähnen nicht einmal, daß derartige Annahmen zu machen seien.

Kürzer darf ich mich über die Untersuchungen von HESS fassen, die sich neuerdings mit der Einwirkung kurz dauernder Lichtreize resp. mit den Nachbildern bewegter leuchtender Punkte beschäftigen. Beim Studium der H.'schen Arbeit sind mir immer Zweifel aufgestiegen, ob H. die Erscheinung, von der YOUNG, DAVIS, EXNER, BIDWELL, ich u. A. reden, überhaupt und namentlich in seinen neueren Versuchen rein zu sehen bekommen hat, ob er nicht, und zwar wegen Anwendung zu starker Lichter ganz andere Dinge beobachtet hat. Dieser Gedanke ist dadurch nahe gelegt, daß H. die seit Jahrzehnten bekannte Fundamentealeigenschaft, der zu Folge das PURKINJE'sche Nachbild als ein in der Regel positiv complementär gefärbtes bezeichnet wird, ganz in Abrede stellt.

Wenigstens die Blaufärbung des Nachbildes bei Anwendung gelben Lichts hätte HESS bei Einhaltung der richtigen Versuchs-

bedingungen m. E. sehen müssen; denn diese ist von ganz unverkennbarer Deutlichkeit und demgemäfs auch von allen früheren Autoren constatirt worden.¹

Bei Anwendung sehr heller Lichter sind aber die Erscheinungen allerdings ganz andere, und ich komme damit auf einen Punkt, in dem HESS meine Anschauungen durchaus mißverstanden hat. Niemals ist es mir eingefallen zu meinen, daß der Zapfenapparat keinerlei positive Nachbilder liefern könne. Den gleichgefärbten Schweif, in den man bei lichtstarken Objecten das primäre Bild sich ausziehen sieht, habe ich, wie sich aus all meinen Darstellungen ergibt, auf die kurze Nachdauer im Zapfenapparat zurückgeführt.²

Macht man die Lichter stark, so streckt sich auch dies gleichfarbige Bild in die Länge und es kommt bei hohen Lichtstärken zunächst dazu, daß es das secundäre erreicht (das charakteristische Intervall also verschwindet) oder auch es überdeckt und unbemerktbar macht. Es hat mich nicht überrascht, daß H. einer Anzahl von Personen gleichfarbige Nachbilder demonstrieren konnte. Im Widerspruch mit meinen Erfahrungen wäre es nur, wenn hier zugleich das lange Dunkelintervall ($\frac{1}{5}$ — $\frac{1}{4}$ Sec.) bemerkbar gewesen wäre. Das aber wird nicht angegeben. Aus diesem Grunde also vermuthe ich, daß H. in der Regel Lichtstärken benutzt hat, die für die Beobachtung des nachlaufenden Bildes viel zu hoch waren.³

Auch in Bezug auf die Sonderstellung der Fovea sind viel-

¹ Sowohl in Bezug auf die Färbung der nachlaufenden Bilder als auch hinsichtlich einiger anderer Punkte verweise ich übrigens auf eine demnächst erscheinende weitere Mittheilung aus dem hiesigen Institut.

² Ob auch hier bei sehr kurzen und intensiven Beleuchtungen eine negative Phase von ganz anderer Größenordnung unter Umständen beobachtet werden kann, wie dies besonders CHARPENTIER angiebt, möchte ich dahingestellt sein lassen.

³ Vielleicht liegt hierin auch der Grund dafür, daß HESS die Erscheinung so sehr durch Ermüdung veränderlich fand und daher Pausen von 15—20 Sec. zwischen den einzelnen Beobachtungen verlangt. Bei unserem Verfahren sieht man bei umlaufendem Object die charakteristischen Erscheinungen in sehr kurzen Pausen (1,5—2 Sec.) wiederholt und viele Male hinter einander völlig übereinstimmend, wodurch die Beurtheilung an Sicherheit gewinnt. Der Einwand von HESS, daß die Wiederholung durch Ermüdung schädige, ist umsomehr gegenstandslos, als die Erscheinung ja stets auch bei der erstmaligen Wendung des Blicks auf die Fixirmarke zu beobachten ist.

leicht die Differenzen zum Theil auf die eben erwähnten Umstände zurückzuführen. Ich muß aufs Entschiedenste bestreiten, daß das Springen des Nachbildes am Fixirpunkt auf den ermüdenden oder sonstwie störenden Einfluß des Fixirzeichens selbst zurückzuführen sei. Fixirt man (zweckmässig mit Hülfe einer zweiten ähnlichen Marke) d a n e b e n, so sieht man aufs Deutlichste das Nachbild über das (nunmehr nicht fixirte, sondern mässig excentrisch gesehene) Lichtzeichen hinlaufen. Ob HESS hier durch die Benutzung überschüssig lichtstarker Fixirzeichen Fehlerquellen eingeführt hat, vermag ich nicht zu beurtheilen. Ich selbst habe stets, wie ich gegenüber der von H. gemachten Andeutung hervorheben muß, die Zeichen so lichtschwach gewählt, daß sie der Grenze der centralen Sichtbarkeit nahe standen. Wählt man das röthliche Licht eines schwach glühenden Platindrahts oder Glühlämpchens, so erscheinen diese Zeichen bei schwacher Dunkeladaptation paracentral zwar etwas, aber nicht sehr viel heller als im Centrum; das Hinübergleiten des Nachbildes (ohne Sprung) ist dort selbst bei erheblich größeren Lichtstärken vollkommen deutlich zu sehen.

So entschieden ich also daran festhalten muß, das in Bezug auf die nachlaufenden Bilder der centrale Bezirk functionsunfähig ist (oder zum Mindesten in seiner Leistung bis zur Unmerklichkeit hinter den Nachbartheilen zurückbleibt), so wenig habe ich je daran gedacht, das Vorkommen positiver Nachbilder auf der Fovea überhaupt in Abrede zu stellen. Mir, wie zahlreichen anderen Autoren vor mir, ist das PURKINJE'sche Nachbild ein besonderes, von dem allbekannten positiv gleichgefärbten Nachbild durchaus zu unterscheidendes Phänomen gewesen. Indem HESS die nur ihm eigene Vorstellung, daß es nur eine Art positiven Nachbildes gebe, in meine Ansichten hineinträgt, gelangt er dazu, mir die ungereimte Meinung zuzuschreiben, daß es auf der Fovea überhaupt keine positiven Nachbilder gebe. Es wundert mich nicht, daß bei den S. 463 angeführten Versuchen (mittels eines Momentverschlusses aufleuchtende Bilder) foveale Nachbilder gesehen wurden. Bezweifeln aber möchte ich (obwohl die „negative Phase“ hier erwähnt wird) ob die Lichtstärken von der Art waren, daß das charakteristische lange Intervall des PURKINJE'schen Nachbildes ($\frac{1}{5}$ — $\frac{1}{4}$ Sec.) wahrgenommen wurde.

Entgegen meinen Angaben findet H., daß nach mehr-

stündiger Dunkeladaptation die Erscheinungen im Wesentlichen ebenso wie bei kurzer Dunkeladaptation sich verhalten. Dem Obigen zufolge muß ich aber auch bezweifeln, ob er hier die charakteristische Form des Phänomens gesehen hat, deren Fehlen ich fand.

Es erledigt sich nach dem eben Gesagten auch der scheinbare Widerspruch in Bezug auf die Wahrnehmung positiver Nachbilder durch total farbenblinde Personen. Daß diese die umlaufenden Objecte bei höheren Lichtstärken in lange Schweife ausgezogen sehen, habe ich nie bezweifelt oder in Abrede gestellt. Aber davon habe ich mich nicht überzeugen können, daß M. Binder ein „recurrent image“, ein von dem primären Bilde durch ein großes Intervall von ca. $\frac{1}{5}$ Sec. getrenntes zweites Bild unter irgend welchen Umständen wahrgenommen hätte. Und eben dies fand ich bei einem mit Hemeralopie Behafteten fehlend.¹

Indem ich mich der Arbeit TSCHERMAK's zuwende, darf ich zunächst deutlicher als der Autor selbst es gethan hat, den Punkt hervorheben, in dem seine Ergebnisse, den früheren HERING'schen Behauptungen entgegen, sich den Befunden von KÖNIG, mir u. A. anschließen.

Endlich, darf man sagen, hat auch die HERING'sche Schule sich davon überzeugt, daß helläquivalente Lichter ungleichen Dämmerungswerth besitzen können. Wenn T.'s. Darstellung die Wichtigkeit dieser Constatirung und ihren Gegensatz zu HERING's bisheriger Stellung wenig bemerklich macht, so soll ihm dies nicht verargt werden. Uns darf wohl gestattet werden, darauf hinzuweisen, daß HERING eben die Unabhängigkeit der optischen Gleichungen von der Stimmung des Sehorgans mit besonderem Nachdruck ganz allgemein behauptet hat. Den „Satz von der Constanz der optischen Valenzen“ erklärte er² für einen Hauptsatz der Lehre vom Lichtsinne und noch 1893 schrieb er: „Das NEWTON'sche Gesetz der Farbenmischung hat zur Voraussetzung, daß alle Farbengleichungen unabhängig sind nicht nur von Erregbarkeitsänderungen des Sehorgans, sondern

¹ Beiläufig sei hier bemerkt, daß neuerdings im hiesigen Institut auch an einem anderen Hemeralopen das Fehlen des secundären Bildes constatirt worden ist.

² HERING, Ueber NEWTON's Gesetz der Farbenmischung. *Lotos* VII, 1887, S. 40 des S.-A.

auch von Aenderungen der Lichtintensität, sofern dieselben alle betheiligten Lichter im gleichen Verhältniß treffen. Durch mannigfache Versuchsreihen habe ich mich immer wieder von der Richtigkeit dieser beiden Voraussetzungen überzeugt.“¹

Bei der Schwierigkeit, auf die es stößt, den Einfluß beider Momente, Lichtstärke und Adaptation, von einander zu sondern (übrigens auch, wie sogleich zu berühren sein wird, im Hinblick auf theoretische Consequenzen), kann es jedenfalls einmal als die Hauptsache gelten, festzustellen, daß bei hohen Lichtstärken und Helladaptation andere Gleichheitsbedingungen existiren als bei geringen Lichtern und Dunkeladaptation. In diesem Punkte Uebereinstimmung erzielt zu haben ist ohne Zweifel ein Fortschritt, selbst wenn über die Bedingungen des ganzen Phänomens die Meinungen noch aus einander gehen.

Ich bespreche nun kurz die Punkte, in denen TSCHERMAK'S Ergebnisse sich von den meinigen noch unterscheiden. Der erste ist der, daß T. eine Abhängigkeit der Gleichungen nur von der Adaptation und nicht von der Lichtstärke behauptet, während ich den Unterschied der Hell- und der Dämmerungsgleichung auf beide Momente bezogen habe. Ich will es abwarten, ob die HERING'sche Schule jenen Satz aufrecht erhalten wird, wenn sie die betr. Erscheinungen für das Sehorgan eines Deuteranopen geprüft haben wird, wozu sich ja wohl die Gelegenheit auch einmal finden wird. Nach meinen Erfahrungen (und implicite bestätigen das eigentlich auch schon die Beobachtungen von HERING und HILLEBRAND) findet man ganz feste und constante Resultate für die Dämmerungswerthe, mag man nach relativ kurzer oder nach sehr langer Dunkeladaptation untersuchen, sofern nur die Lichtstärken immer so gering gewählt sind, daß keine Farben gesehen werden. Genügende Lichtabschwächung ist also immer ausreichend, die nämlichen Gleichheitsbedingungen herbeizuführen, selbst bei stark wechselndem Adaptationszustand.

Daraus geht schon hervor, daß der TSCH.'sche Satz nicht richtig sein kann. Auf die Schwierigkeiten, die es hat, sehr verschiedene Lichtstärken bei gleichem Adaptationszustande zu prüfen, will ich nicht eingehen.

Der zweite Punkt ist der, ob die erwähnten Differenzen

¹ HERING, Ueber den Einfluß der Macula lutea auf spectrale Farbgleichungen. PFLÜGER'S *Archiv* 54, S. 309, 1893.

auch für den kleinen centralen (stäbchenfreien) Bezirk gelten oder nicht. Auch in dieser Hinsicht wird ja wohl das Ergebniss weiterer Versuche abzuwarten sein und auch hier glaube ich, daß die Beobachtungen der Dichromaten ungemein viel aussichtsreicher sind. Für diese können weiße Felder hergestellt werden, die, bei der Hellbeobachtung gleich erscheinend, bei der Dämmerungsbeobachtung so stark verschieden sind, daß das eine den 7fachen Helligkeitswerth vom anderen besitzt. Bei derartigen Feldern sahen NAGEL und STARK die Hellgleichungen auch nach Dunkeladaptation und bei abgeschwächter Beleuchtung central gültig bleiben. Zu beurtheilen, ob eine geringe Helligkeitsdifferenz zweier Felder bei genau centraler Fixation besteht, halte ich für äußerst schwierig. Und die Methode T.'s, bei der die Fixirmarke nur als dunkler Fleck in den hellen Feldern gegeben ist, scheint mir keineswegs glücklich; bei lichtschwachen Feldern bietet sie gewiß keine genügend sichere Fixation.¹ Daß die Benutzung eines centralen Lichtpünktchens geeignet sei, wie T. meint „entweder die Wirkung der centralen Dunkeladaptation zu zerstören oder wenigstens durch Contrast den Helligkeitsunterschied zu beeinträchtigen“, ist ein wenig stichhaltiger Einwand. Es ist ja ganz selbstverständlich, daß bei all diesen Versuchen nicht etwa dauernd fixirt wird; sondern von irgend einer anderen Stellung ausgehend wird das Auge plötzlich auf die Fixirmarke gerichtet und sofort das Aussehen der Felder beurtheilt. Dies ist ja schon unbedingt nothwendig, um die Hauptgefahr, das Gleichwerden der Felder durch die Localadaptation, zu vermeiden. Wie soll hierbei die centrale Adaptation sofort aufgehoben werden, eine Annahme, die sich übrigens am seltsamsten im Munde T.'s ausnimmt, der es für möglich hält, das Aussehen lichtstarker Gleichungen für dunkeladaptirte Theile zu prüfen. Wie durch Contrast eine Helligkeitsdifferenz beeinträchtigt werden soll, ist noch schwerer ersichtlich.

¹ Aus dem gleichen Grunde finde ich auch die von SHERMAN (WUNDT's *Philosophische Studien* XIII, S. 434) mitgetheilten Beobachtungen über das PURKINJE'sche Phänomen im Netzhautcentrum für mich nicht überzeugend. Hier sollte die Mitte der zwischen rothem und blauem Feld verlaufenden dunkeln Trennungslinie fixirt werden. Die Seite des quadratischen Feldes war über 2° lang. Die Mitte der dunkeln Linie, deren absolut genaue Fixirung also erforderlich gewesen wäre, ist, soweit ich sehe, gar nicht markirt gewesen.

Die ganze Frage des Verhaltens der Fovea sollte, wie ich glaube, schon gegenwärtig nicht unter einem ganz speciellen Gesichtspunkt sondern in etwas allgemeinerer Weise und im Zusammenhang mit den anderen Erscheinungen betrachtet werden. Erwägen wir die Thatsachen allgemeiner, so stellt sich, wie mir scheint, heraus, daß nunmehr auch die HERING'sche Schule auf dem Wege angelangt ist, der zu der Annahme eines gesonderten Dunkelapparats führt. Der total Farbenblinde sieht die verschiedenen Lichter in Helligkeitsverhältnissen, wie der Normale beim Dämmerungssehen; aber die hier zu ermittelnden Helligkeitswerthe, während sie für den total Farbenblinden durchweg zutreffen, sind für das normale helladaptirte Sehorgan nicht mehr gültig. Folgerichtig gelangt auch T. dazu, die Frage zweier verschiedener, die Weißempfindung vermittelnder Sehstoffe wenigstens zu discutiren¹ und folgerichtig vermutet er, daß im total farbenblinden Sehorgan, „abgesehen von dem die Farbenempfindung vermittelnden Apparate auch jener unbekannte Factor fehlt, welcher die Störungen farbloser Gleichungen bei Zustandsänderung (Hell- oder Dunkeladaptation) im farben-tüchtigen Sehorgan bedingt“. Die Argumente, die für die Existenz eines besonderen Dunkelapparats und gegen eine durch die Adaptation bewirkte Beschaffenheitsänderung des im Hellen functionirenden Organtheils sprechen, lassen sich gegenwärtig noch vermehren. Es gehört hierher eine Beobachtung, deren Ausführung in jüngster Zeit Herrn Dr. NAGEL gelang und welche lehrt, daß auf gewisse Weise auch bei ganz geringer Dunkeladaptation eine Function beobachtet werden kann, die die einzelnen Lichter nach Maafsgabe ihrer Dämmerungswerthe auslösen. Dies ist das nachlaufende Bild. In der That konnte Dr. NAGEL sich überzeugen, daß zwei bei ruhender Betrachtung gleich erscheinende Lichter, ein homogenes Blaugrün und ein Rothblaugemisch, beide etwa farblos erscheinend, sich ebenso wie bez. ihrer Dämmerungswerthe auch bez. der nachlaufenden Bilder

¹ Die Frage, ob, weil die Apparate verschiedene Schwellenwerthe haben, für die Gleichungen auch die absolute Intensität der Lichter in Betracht kommt, oder ob, wie T. annimmt, die Reizwirkungen ohne Weiteres von dem Mischungsverhältniß beider Sehstoffe abhängig zu denken wären, die Gleichungen also nur vom Zustande des Auges und nicht von der Intensität der Lichter abhängen, ist unter diesem Gesichtspunkt in der That, wie oben schon erwähnt, von nur secundärer Bedeutung.

sehr stark unterscheiden. Das homogene Licht lieferte ein sehr deutliches, das Gemisch ein viel schwächer oder gar nicht sichtbares nachlaufendes Bild.¹ In der gleichen Richtung beachtenswerth ist dann auch das Springen der nachlaufenden Bilder, welches bei ganz geringer Dunkeladaptation zu beobachten ist. Unter diesen Umständen sieht das Centrum mittelstarke Lichter bei gewöhnlicher Dauerbetrachtung noch ebenso hell wie die Peripherie. Das Verhalten des nachlaufenden Bildes zeigt uns aber, daß in einer bestimmten Beziehung gleichwohl das Centrum zum Mindesten sehr viel weniger leistungsfähig ist als die Umgebung. Auch hieraus ergibt sich, daß der Unterschied von Peripherie und Centrum keineswegs erschöpfend durch die dem Centrum zugeschriebene „geringe Adaptationsfähigkeit“ erklärt werden kann.

Mir scheint nach alledem die Hoffnung berechtigt, daß zunächst einmal insofern eine Uebereinstimmung der Autoren sich herausstellen wird, als die Existenz eines besonderen Dunkelapparats für wahrscheinlich erachtet wird, bezüglich dessen localer Verbreitung jedenfalls das sicher wäre, daß er im Centrum nur in äußerst reducirtem Maasse vorhanden ist. Man hat bei dieser Auffassung dann die Frage allgemein zu stellen, ob sich Spuren des Dunkelapparats auch in der Fovea nachweisen lassen, und man wird selbstverständlich gut thun, zu ihrer Beantwortung vor Allem diejenigen Methoden heranzuziehen, die ein möglichst sicheres Ergebniss zu liefern geeignet sind. In dieser Richtung gedenke auch ich noch Weiteres zu versuchen. Daß die That-sachen, auf die ich ursprünglich die Theorie stützte, ein absolutes Fehlen des Dunkelapparats im Centrum nicht streng beweisen, sondern sich auch als eine, vollkommenem Fehlen sich nur annähernde Reduction auffassen lassen, muß ich selbstverständlich zugeben. Auf der anderen Seite muß ich aber sagen, daß bis jetzt kein Verfahren, welches ich für einwurfsfrei und zuverlässig anerkennen möchte, ein central lückenloses Vorkommen des Dunkelapparats herausgestellt hat.

Ich will die verschiedenen in dieser Hinsicht geltend gemachten Momente nicht nochmals erörtern und beschränke mich

¹ Die Beobachtung wurde am HELMHOLTZ'schen Farbenmischapparat ausgeführt, und zwar so, daß die Felder mittels eines kleinen, dicht am Ocularspalt angebrachten Spiegelchens gesehen wurden, das um eine auf seiner Fläche etwas schiefwinkelig stehende Axe rotirte.

auf eine Bemerkung bez. der fovealen Adaptation. Es wäre selbstverständlich ein Irrthum, zu glauben, daß ich Ermüdungen oder Umstimmungen des Zapfenapparats überhaupt nicht annehme. Schon die negativ-complementären Nachbilder beweisen ja diese und ich habe daher immer dem Dunkelapparat nur einen (im Vergleich zu den Zapfen) besonders hohen Grad von Adaptationsfähigkeit zugeschrieben. Was die Beobachtungen über die fovealen Schwellenwerthe anlangt, so bin ich durch die kurze Angabe T.'s (a. a. O. S. 319) noch nicht von einem wirklichen Gegensatz überzeugt. Die Untersucher des hiesigen Instituts fanden, daß, wenn man die ersten paar Minuten vorübergehen läßt (in denen wegen der zufälligen Beschaffenheit der vorher gesehenen Lichter und aller Nachbilder überhaupt Schwellenwerthe schwer zu bestimmen und von keiner einheitlichen Bedeutung sind), alsdann eine Abnahme der centralen Schwellenwerthe bei längerem Dunkelaufenthalt sich nicht herausstellt. T. giebt über die Zeiten nichts Genaueres an; es bleibt also zunächst die Frage offen, ob er die (fovealen) Schwellenwerthe vielleicht in den ersten 3—4 Minuten des Dunkelaufenthalts abnehmen sah. Nur wenn er eine stetige Abnahme auch weiterhin, von der 5. bis zur 30. Minute und noch länger (wie es für die Peripherie gilt), auch foveal gefunden hätte, stände das mit den hiesigen Erfahrungen im Widerspruch. — Die einzige That- sache, die einigermaassen für das Auftreten des Dunkelapparats im stäbchenfreien Bezirk zu sprechen scheint, ist die Zunahme der Empfindlichkeit, die schon bei ganz geringen Excentricitäten gegenüber dem Centrum selbst bemerkt wird. Ein Beweis kann aber darin gewiß nicht erblickt werden. Auch der gleiche Seh- apparat kann selbstverständlich aus mancherlei Gründen (z. B. mit abnehmender Sehschärfe, wegen günstigerer Circulations- und Ernährungsverhältnisse u. s. w.) abnehmende Schwellenwerthe zeigen. Gegen das foveale Vorkommen des Dunkelapparats sprechen die vorhin erwähnten Beobachtungen der Dichromaten und das Fehlen des farblosen Intervalls beim Blau, woran ich für mich festhalten muß, in Uebereinstimmung mit PERTZ und FICK.¹

¹ Im Uebrigen kann ich nur wiederholen, was ich bereits bei einer früheren Gelegenheit sagte, daß mir eine absolute Freiheit des Centrums vom Dunkelapparat durchaus kein absolutes theoretisches Postulat ist. Als ich die Hypothese von dem gesonderten Dunkelapparat aufstellte, habe

Wichtiger aber als die Einigung über diesen schwer ganz sicher zu entscheidenden Punkt wäre es, wenn die HERING'sche Schule zur Anerkennung und Bestätigung der ganz palpablen Thatsachen sich veranlaßt fände, die KÖNIG, ich u. A., im Widerspruch mit HERING's früheren Lehren, gefunden haben. In dieser Richtung darf die T.'sche Arbeit, trotz der Differenzen, die noch bleiben, und trotz der ablehnenden Form, wohl als ein erster Schritt begrüßt werden, sofern in ihr „der Satz von der Konstanz der optischen Valenzen“ fallen gelassen ist.

ich die Frage, ob Stäbchen oder Sehpurpur Substrat des Dunkelapparats seien, in der Annahme, daß der Purpur ausschließlich in den Stäbchen vorkomme, gar nicht aufgeworfen, und ich habe, wenn ich meist die Stäbchen als Dunkelapparat bezeichnete, damit in dieser Richtung eine Entscheidung nicht treffen wollen. Sollte ein Vorkommen von Spuren des Dunkelapparats im stäbchenfreien Gebiet sich bewahrheiten, so wäre an das Eindringen des Purpurs zu denken, eine Vorstellung, der ich um so weniger abgeneigt bin, als auch die nachlaufenden Bilder den Gedanken eines außerhalb der Stäbchen befindlichen Purpurs angeregt haben. Uebrigens hat wohl hinsichtlich der Fragen, bis zu welchem Centralabstand vereinzelte Stäbchen noch vorkommen und welche Rolle hier individuelle Verschiedenheiten spielen, auch die histologische Untersuchung noch keineswegs ihre Akten geschlossen.

(Eingegangen am 4. October 1898.)
