

(Aus dem Physiologischen Institut zu Freiburg i. Br.)

Weitere Mittheilungen über die functionelle Sonderstellung des Netzhautcentrums.

Von

J. VON KRIES und W. A. NAGEL.

In Bezug auf die Functionsunterschiede zwischen dem Netzhautcentrum und den benachbarten Theilen gehen die der letzten Zeit angehörigen Angaben, wie bekannt, auseinander. Während einige Autoren gewisse Eigenthümlichkeiten der Function, die peripher vorhanden sind, dem Centrum vollkommen absprechen, gehen die Erfahrungen anderer, allgemein gesagt, etwa dahin, daß zwischen Centrum und Peripherie zwar quantitative, aber keine qualitativen Unterschiede nachweisbar seien. In dieser Richtung sind vornehmlich zu erwähnen TSCHERMAK¹ und SHERMANN.² Eine erneute Prüfung der Frage erschien uns, in Ergänzung unserer früheren Angaben³ hauptsächlich aus zwei Gründen erwünscht. Erstlich hatten sich unsere Beobachtungen damals auf mäßige Adaptationszeiten beschränkt, 30 bis vielleicht 60 Minuten. Da insbesondere TSCHERMAK angiebt, daß die centrale Adaptation außerordentlich langsam erfolge, so war es geboten, die gleichen oder ähnliche Versuche auch mit sehr viel längerer Adaptationsdauer zu wiederholen. Sodann war es, wie auch mehrfach hervorgehoben wurde, nicht gelungen, den jener Functionsweisen ermangelnden Bezirk mit der Genauigkeit zu

¹ A. TSCHERMAK. Ueber die Bedeutung der Lichtstärke und des Zustandes des Sehorgans für farblose optische Gleichungen. *PFLÜGER'S Arch.* 70, 297.

² SHERMANN. Ueber das PURKINJE'SCHE Phänomen im Centrum der Netzhaut. *WUNDT'S Philos. Studien* 13, 434.

³ J. v. KRIES u. W. NAGEL. Ueber den Einfluss von Lichtstärke und Adaptation auf das Sehen des Dichromaten (Grünblinden). *Ztschr. f. Psychol.* 12, 1.

umgrenzen, die man hätte wünschen können. Auch in dieser Beziehung erschien es also geboten, nach der Möglichkeit einer Ergänzung zu suchen.

Bei einer abermaligen Bearbeitung des Gegenstandes fanden wir zweckmässig, in mehreren Hinsichten von dem Verfahren der anderen vorhin erwähnten Autoren abzugehen. Wir konnten nicht für rathsam halten, die Versuche an einem centralen Felde von solcher Ausdehnung anzustellen, wie nach den zur Zeit vorliegenden histologischen Angaben die Grösse des stäbchenfreien Bezirks geschätzt wird. Denn erstlich kann man wohl darüber im Zweifel sein, wie weit diese Angaben für den Einzelfall als maassgebend zu betrachten sind. Sodann ist zu beachten, daß, wenn man dem Felde eine Grösse giebt, die das stäbchenfreie Gebiet gerade deckt, eine vielleicht nie zu realisirende absolut strenge Fixation erforderlich wird und die geringste Blickschwankung das Ergebniss fälschen kann. Auch dies spricht zunächst für die Benutzung kleinerer Felder. Ausserdem aber muß man es doch wohl auch für wünschenswerth erachten, die Untersuchung von bestimmten theoretischen Voraussetzungen einigermaassen abzulösen. Stellt man zunächst ohne theoretischen Ausblick die Frage einfach dahin, ob überhaupt ein centraler Bezirk existirt, der irgendwelche Functionseigenthümlichkeiten oder Functionsmängel darbietet, so erscheint es ohne Zweifel richtiger, die Prüfung zunächst an einem noch erheblich kleineren Felde vorzunehmen. War die Frage zu bejahen, so bot sich dann erst als weitere Aufgabe die, die Grösse jenes Bezirkes mit möglichster Genauigkeit zu bestimmen. Natürlich mußte dabei Bedacht genommen werden, die Sicherheit der Beobachtung durch die Reduction des Feldes nicht herabzusetzen. Um in dieser Beziehung möglichst günstige Verhältnisse zu gewinnen, erschien es nützlich auch hier auf die Methode des „Flecks“ zu recurriren, d. h. das eine der zu vergleichenden Felder rings von dem anderen umschlossen darzustellen. Dies haben wir in der später noch genauer zu beschreibenden Weise gethan und dabei dem eingeschlossenen kreisförmigen Fleck eine Ausdehnung von nur $\frac{1}{4}$, in anderen Versuchsreihen von $\frac{1}{2}$ Grad gegeben.

Im Uebrigen war es natürlich angezeigt, die ganze Frage auf einem Gebiete in Angriff zu nehmen, auf dem in sonstiger Beziehung die Chancen für ihre Beantwortung die günstigsten

sind. Von allen den Erscheinungen nun, die den Gedanken eines selbständigen „Dunkelapparates“ nahegelegt haben, ist weitaus die auffälligste die Abweichung der Dämmerungswerthe von den Hellwerthen, wie sie der Dichromat, vornehmlich der Deuteranop, beobachtet und das Fehlen dieser Erscheinung im Centrum ist demgemäß auch von allen den functionellen Sonderstellungen, die diesem zukommen, die am schärfsten charakterisirte und greifbarste. Wir haben bereits früher mitgetheilt, daß für den Einen von uns, sowie für andere Deuteranopen, leicht zwei farblose, helläquivalente Lichter, ein homogenes und eine Roth-Blau-Mischung hergestellt werden können, deren Dämmerungswerthe sich so stark unterscheiden, daß der eine das Sechsbis Achtfache des anderen beträgt. Mit Bezug auf derartige Vergleiche haben wir denn auch früher angegeben¹, daß die Hellgleichungen auf kleinen centralen Feldern gültig bleiben, auch wenn die Bedingungen des Dämmerungssehens, Abschwächung der Lichter und Dunkeladaptation, eingeführt werden. Unsere damaligen Erfahrungen gaben aber für die hier zu behandelnde Frage einen noch weit günstigeren Modus an die Hand. Es besteht nämlich hier keinerlei Nothwendigkeit, sich auf farblose Lichter oder Lichtmischungen zu beschränken. Im weniger brechbaren Theile des Spectrums nun finden sich helläquivalente Lichterpaare, deren Dämmerungswerthe noch sehr viel stärker verschieden sind (1:100 und noch mehr²). Wir beschlossen daher in erster Linie zu prüfen, ob bei einer Hellgleichung von dieser Art auch für das Netzhautcentrum die Ungleichheit der Dämmerungswerthe bemerkbar werde.

In einer Beziehung konnte der Versuch gegenüber früheren vereinfacht und zugleich verschärft werden. Es kann nämlich wohl als sichergestellt gelten, daß für das helladaptirte Centrum die Gleichungen durch proportionale Intensitätsvariirung keine Beeinträchtigung erfahren. Man kann daher hier auf diese Variirung überhaupt verzichten und sich darauf beschränken, den Einfluß der Adaptation zu prüfen. Die Wahl der absoluten Lichtstärken ist dabei zunächst willkürlich. Wie wir in dieser Beziehung verfahren, wird später noch anzuführen sein.

Wir schicken der speciellen Mittheilung unserer Versuche noch einige Bemerkungen über das benutzte Verfahren für

¹ *Zeitschr. f. Psychol.* 9, 97; 12, 25 f.

² *Zeitschr. f. Psychol.* 12, 17 f.

Dunkeladaptation voraus. Das Verfahren des Occlusivverbandes ist in mancher Hinsicht ja das bequemste und am wenigsten belästigende. Die Anforderung aber, daß beim Aufenthalt im hellen Raum keine Spur von Licht in das Auge gelangen kann, ist überhaupt nicht ganz leicht, noch schwerer so zu erfüllen, daß das Auge dabei keinen seine Functionen beeinträchtigenden Druck erfährt. Dem Einen von uns (N.) gelang es nach längerem Probiren und Einüben, sich ein Verfahren herzustellen, das in beiden Beziehungen tadellos war. Demgemäß konnte dann mit dem Dunkelauge unmittelbar nach der Abnahme des Verbandes beobachtet werden, was namentlich werthvoll war, wenn es auf einen unmittelbaren Vergleich mit dem anderen helladaptirten Auge ankam. Der Andere von uns (K.) empfand von dem Schlußverband auf die Dauer stets leichte Belästigung, und es war daher nöthig, den Endtheil der Adaptationszeit ohne Verband im völlig verdunkelten Zimmer zuzubringen. Für sehr lange Adaptationszeiten haben wir beide die Nacht benutzt. In der Zeit der langen Nächte kann man leicht des Morgens, ehe die Augen Licht erhalten haben, das eine mit dem Schlußverband zudecken. Dieser bleibt dann entweder bis unmittelbar vor der Anstellung der entscheidenden Beobachtungen mit dem Dunkelauge liegen, oder er wird im ganz verdunkelten Zimmer entfernt, um das Auge noch einige Zeit ganz von Druck befreit zu halten, wie dies der Eine von uns (K.) vorzog.

I.

In einer ersten Reihe von Versuchen wurde der gerad-sichtige Spectralapparat benutzt, der in der Arbeit von POLIMANTI¹ beschrieben ist. Der Beobachter sieht hier, in der gewöhnlichen Weise durch einen Spalt blickend, die Objectivlinse von einem beliebig zu wählenden homogenen Licht erhellt. Man kann nun, ganz wie es POLIMANTI bei seinen Versuchen that, vor der Linse eine Scheibe mit einem Loch anbringen, die von vorn her beleuchtet wird. Das spectrale Licht erscheint dann als Fleck in demjenigen, welches von der Vorderfläche jener Scheibe diffus reflectirt wird, und auch dieses letztere kann natürlich durch Benutzung eines farbigen Papiers, sowie durch Anwendung farbiger Beleuchtung nach Belieben hergestellt werden. Es war

¹) O. POLIMANTI. Ueber die sogenannte Flimmerphotometrie. *Zeitschr. f. Psychol.* 10, 263.

am vortheilhaftesten, das umgebende Licht roth, das spectrale des Flecks grüngelb zu machen. Die Scheibe wurde demgemäfs aus dem rothen Papier der ROTHE'schen Sammlung hergestellt und mittels eines Auerbrenners beleuchtet, der in einer mit rothem Glas verschlossenen Laterne, wie sie für photographische Zwecke benutzt wird, eingeschlossen war. Das gelbgrüne Licht des Spectroskops wurde danach so kurzweilig gewählt, wie dies mit der Anforderung einer vollkommenen Gleichung für das helladaptirte Centrum vereinbar war.

Hierbei zeigte sich, dafs für die Einstellung der Gleichungen die Methode des Flecks auch bei centraler Beobachtung zum mindesten subjectiv sehr angenehm ist und das Gefühl einer grossen Sicherheit giebt. Jedoch ist zu bemerken, dafs es im Allgemeinen nicht gelingt, den Fleck wirklich ganz unsichtbar zu machen, wie dies bei Peripheriebeobachtungen möglich ist. Bei der hohen Sehschärfe des Centrums bleibt eine Andeutung des Umrisses meist stellenweise sichtbar und zwar selbst bei sorgfältigster Behandlung der die Oeffnung begrenzenden Ränder. Dies gilt, wie hier sogleich bemerkt sei, auch für die in den folgenden Abschnitten mitgetheilten Versuche, auch für diejenigen, bei denen die Uebereinanderlagerung von Fleck und Grund mit dem LUMMER'schen Würfel gemacht wurde. Der Grund liegt wohl vornehmlich in der Farbenzerstreuung des Auges, durch welche, beim Aneinanderstossen objectiv verschiedener und nur subjectiv gleich erscheinender Lichter, die Grenzlinie stets eine Abweichung bieten mufs. Bei geringen Lichtstärken erreicht man allerdings, dafs der Rand nur stellenweise und für Augenblicke bemerkbar wird. Jedenfalls ist die Vergleichung der Felder nach Helligkeit und Farbe eine sehr vollkommene, sicherer als bei der Benutzung zweier aneinander grenzender Felder mit deutlichen Grenzlinien, wie sie z. B. die Farbmischapparate sonst darbieten. So weit sich nach dem subjectiven Eindruck ohne directe Bestimmung des mittleren Fehlers u. dgl. urtheilen läfst, dürfte dieser Vortheil der Anordnung die Erschwerung durch Reduction der Feldgröfse reichlich aufgewogen haben. Selbstverständlich bleibt zu beachten, dafs Vergleiche, die auf eine bestimmte Netzhautstelle beschränkt sind, also mit fixirtem Auge ausgeführt werden müssen, stets an Genauigkeit weit hinter denjenigen zurückbleiben, bei denen die verlangte Gleichheit für alle Netzhautstellen gültig ist und

daher mit bewegtem Auge beobachtet werden kann. Dies gilt umsomehr, wenn thatsächlich kleine Blickschwankungen schon genügen, um das Verhältniß von Fleck und Umgebung sehr zu modificiren. — Als eine zu beachtende Fehlerquelle sei hier noch erwähnt, daß sich bei kleinem Fleck das Ergebniß der Vergleichung zwar nur wenig, aber doch deutlich von der Accommodation abhängig zeigte, was bei der Ungleichheit der Zerstreuungsbedingungen für die Lichter des Flecks und des Grundes verständlich ist. Wir haben aus diesem Grunde Sorge getragen, erheblichen Wechsel des Accommodationszustandes in allen Versuchen thunlichst zu vermeiden.

Was die absolute Helligkeit anlangt, bei der die Versuche auszuführen waren, so haben wir es für richtiger erachtet, sie nicht auf die ganz geringen Lichtstärken zu beschränken, die in den vorhin erwähnten Versuchen von NAGEL und STARK zur Verwendung gekommen waren. In der That nämlich kann man ja wohl daran denken, daß geringe Spuren des Dunkelapparates im Centrum gerade bei ganz schwacher Reizung unter der Schwelle der Wirksamkeit bleiben möchten, das in der Peripherie bestehende Verhältniß sich also umkehren könnte. Es wurden daher im Allgemeinen zwar geringe, aber doch nicht der Grenze der Sichtbarkeit sich annähernde Lichter verwendet.¹ Aus diesem Grunde wurde es möglich, uns in einem Punkte der Anordnung TSCHERMAK's anzuschließen, nämlich ein dunkles Fixirzeichen zu benutzen. So wenig es uns auch glaublich erschien, daß das in jenen Versuchen verwendete winzige Lichtpünktchen eine etwaige Adaptation der Fovea hätte zerstören sollen, so war natürlich doch die Verwendung des dunkeln Zeichens vorzuziehen, sobald eine hinreichende Sicherheit der Fixation auch mit ihm voraussichtlich zu erreichen war. Es wurde also vor die Scheibe ein schwarzer Faden gespannt, der ein kleines, als Fixirmarke dienendes Knötchen trug.

Bei der Anordnung der Versuche mußte selbstverständlich Sorge getragen werden, daß das Auge des Beobachters vor dem Lichte der Spectroskoplampe vollkommen geschützt war, was sich durch passende Schirme leicht erreichen liefs. Auch von

¹ Eine bestimmtere Angabe über die Lichtstärken ist hier leider nicht möglich, wird aber bei der folgenden Versuchsreihe gegeben werden.

dem rothen Lichte zerstreute sich nur wenig im Zimmer, so daß das zum Versuche benutzte Auge die entscheidende Beobachtung unmittelbar nach der vollständigen Verdunkelung machen konnte und auch bei der Beobachtung selbst keine anderen als die zu vergleichenden Lichte ins Auge drangen. Ein gewisser Uebelstand war bei diesen Versuchen der, daß die beiden zu vergleichenden Lichte von zwei verschiedenen Lichtquellen geliefert wurden, demgemäß eine Aenderung in deren Helligkeit auf die Gleichungen von Einfluß sein mußte. Solche Aenderungen sind zwar in kurzen Zeiten nicht zu constatiren, müssen aber bei Erstreckung über längere Zeiten immer als möglich in Rechnung gezogen werden. Es war aus diesem Grunde sehr werthvoll, daß die Beobachtungen nach Belieben mit beiden Augen ausgeführt werden konnten, und daß, wie eine Reihe von Vorversuchen zeigte, die Gleichungen des rechten und linken Auges im helladaptirten Zustande keine bemerkbare Differenz ergaben. Hiernach gestaltete sich denn der Gang eines Versuches folgendermaßen. Das eine Auge, in einigen Fällen das rechte, in anderen das linke, wurde in den Zustand hochgradiger Dunkeladaptation versetzt. Die Adaptationszeiten betragen dabei in verschiedenen Versuchen zwischen zwei und zwölf Stunden.

Nach dieser Vorbereitung wurde, wobei dieses Auge noch verdeckt blieb, die Gleichung mit dem anderen, helladaptirten Auge aufs Sorgfältigste eingestellt. Nachdem dies geschehen, wird das Dunkelauge von seinem Verband befreit und die Gleichung von diesem geprüft. Schließlich kann die Gleichung nochmals von diesem controlirt werden, nachdem es seiner Dunkeladaptation durch einen Aufenthalt im hellen Zimmer beraubt worden ist. Das Ergebniß dieser Versuche war nun dies: In dem Augenblick, wo das Dunkelauge geöffnet wird und ehe es sich auf den Fixirpunkt gerichtet hat, erscheint der Fleck ungemein stark hell, man könnte sagen leuchtend, auf dunkler Umgebung. Dies Verhältniß ist aber in dem nämlichen Momente verschwunden, in dem der Blick auf die Fixirmarke gerichtet ist. Die für das helladaptirte Centrum geltende Gleichung erscheint stets auch für dasjenige, welches stundenlang dunkeladaptirt war, zutreffend.

Ueber die GröÙe des Bezirks, für welchen diese Regel zutrifft, wurden bei dieser Versuchseinrichtung einige Beobachtungen gemacht. Dieselben waren in einigen Hinsichten technisch un-

vollkommen und sollen hier nicht des Genaueren mitgetheilt werden. Sie lieferten aber ein beachtenswerthes und auch in den folgenden Reihen bestätigtes Ergebniss. Bei dem wiederholt gemachten Vergleich nämlich einer relativ kurzen ($\frac{1}{2}$ —1stündigen) und einer sehr langen (3—10stündigen) Dunkeladaptation zeigte sich, dass die Grenzen nicht merklich verschieden gefunden werden; in dem gleichen Abstände von dem Fixirpunkte beginnt der Fleck sich vom Grunde zu unterscheiden. Die Grenze scheint aber durch die sehr lange Adaptation bedeutend an Schärfe zu gewinnen; das Ungleichwerden tritt plötzlicher auf, der Unterschied, der beim Ueberschreiten der Grenze zu bemerken ist, ist weit stärker und augenfälliger. Wir werden auf diesen Umstand noch zurückzukommen haben.

II.

Trotz des vollständigen Verzichts auf prismatische Zerlegung waren die messenden Versuche einer zweiten Reihe wesentlich vollkommener und vollständiger als die eben beschriebenen. Aus verschiedenen Gründen schien es zweckmässig, auch hier auf das bereits vielfach als sehr gut erprobte Verfahren HERING's zu recurriren und die Versuchseinrichtung an der Thür zwischen zwei Dunkelzimmern anzubringen. Im Einzelnen gestaltete sich das Verfahren folgendermaassen: Die Thüre, welche, wie wir es nennen wollen, das Beobachtungs- und das Nebenzimmer trennt, war mit einer Oeffnung von ca. 5 cm Durchmesser versehen. Diese wurde auf der Seite des Nebenzimmers mit Milchglas und mit einem Absorptionstroge bedeckt, der mit der von dem Einen von uns beschriebenen¹ gelblichgrünen Flüssigkeit gefüllt war. Im Abstände von etwa 1 m wurde eine Auerlampe aufgestellt und es erschien alsdann die Oeffnung vom Beobachtungszimmer aus gesehen als eine mit annähernd homogenem gelbgrünem Licht gleichmässig erleuchtete Fläche. Dicht vor dieser Oeffnung auf der Seite des Beobachtungszimmers war nun wieder eine rothe und mit rothem Licht zu beleuchtende Scheibe angebracht; in dieser erst befand sich das kleinere, für die Beobachtung eigentlich in Betracht kommende Loch, in der Regel von 2,5 mm Durchmesser, entsprechend einem Gesichtswinkel von $\frac{1}{4}^{\circ}$. Beleuchtet wurde die rothe Scheibe von der Seite des Beobachtungszimmers aus

¹ W. A. NAGEL. Ueber flüssige Strahlenfilter. *Biolog. Centralbl.* 18, 649.

durch eine mit Rubinglas verschlossene Dunkelzimmerlampe, die auf einer Photometerbahn beweglich aufgestellt war. Der Beobachter konnte sie von seinem Platze aus bequem schieben und auf diese Weise die Herstellung der Gleichung bewirken. Um zu einer ganz befriedigenden Combination zu gelangen, ist hier einiges Probiren sowohl bezüglich der die Farbe des Flecks bestimmenden Absorptionsflüssigkeit, wie bezüglich des rothen Papiers und der für die Laterne zu wählenden Gläser erforderlich. Wir gelangten indessen zu einer sehr befriedigenden, für das Centrum gültigen Gleichung mit Lichtern, deren Dämmerungswerthe sich immer noch wie 1:40, in einigen Fällen sogar wie 1:80 verhielten.¹ — Als Fixirzeichen diente auch in diesen Versuchen — von einigen zu erwähnenden Ausnahmen abgesehen — ein schwarzes, das mittels eines sehr dünnen Fadens vor dem Beobachtungsobject angebracht war.

Die eben beschriebene Anordnung der Versuche bot zunächst die Möglichkeit einer Prüfung, auf die wir glaubten Werth legen zu müssen. Man kann nämlich gegen die in der gewöhnlichen Weise angestellten Beobachtungen, auch gegen unsere vorhin mitgetheilten, immer das Bedenken haben, daß eine, vielleicht äußerst geringfügige Adaptation des Centrums bei Belichtung sehr schnell zerstört werde; wenn auch der Fleck bei Fixation der Marke verschwinde, so sei es doch jedenfalls sehr schwer zu sagen, ob er wirklich sofort oder erst nach einer kurzen Fixationsdauer der Umgebung gleich erschienen sei. Um in dieser Hinsicht eine noch größere Sicherheit zu erlangen, richteten wir den Versuch folgendermaassen ein. Vor der oben erwähnten rothen Scheibe wurde noch eine ganz ebensolche, jedoch ohne Oeffnung, eine Deckscheibe, angebracht und zwar an einem beweglichen Arm. Das Beobachtungsobject war daher zunächst durch ein ganz gleichmäsig rothes Feld ersetzt und konnte in einem beliebigen Augenblicke durch einen einfachen Handgriff eines Gehülfen für ganz kurze Zeit aufgedeckt werden. Die Fixirmarke

¹ Für das Verhältniß der Dämmerungswerthe wurde nur ein Minimalwerth ermittelt; dies geschah so, daß das gelbgrüne Licht durch einen im Nebenzimmer hinter der Oeffnung aufgestellten Episkotister abgeschwächt wurde, und zwar so weit, daß bei mäsig excentrischer Beobachtung der Fleck noch deutlich hell erschien. Bei den hier mitgetheilten Versuchen war dies noch der Fall, wenn das grüngelbe Licht auf $\frac{1}{40}$ resp. $\frac{1}{80}$ des für Helläquivalenz erforderlichen Werthes reducirt wurde.

befand sich natürlich vor der Deckscheibe, war also auch vor der Aufdeckung des eigentlichen Objects sichtbar. Der Versuch gestaltete sich demnach so, daß zuerst die central gültige Gleichung mit dem Hellauge eingestellt und die dafür erforderliche Stellung der Lampe auf der Photometerbank abgelesen wurde. Es wurden zu diesem Behufe stets fünf Einstellungen gemacht. Danach wurde dann sogleich die Deckscheibe vorge-schoben. Nachdem dann das Dunkelauge von seinem Verbands befreit war, wurde immer bei geschlossenem Auge der Kopf in die richtige Stellung gebracht. Auf ein Avertissement des Gehülfen (Jetzt!) wurde das Auge geöffnet und sofort der Blick auf die Marke gerichtet. In diesem vorbereitenden Zeitraum wurde das Auge, wie wichtig ist zu beachten, nur von einem rein rothen Licht von verschwindend geringer „Weißvalenz“ getroffen. Gleich darauf (die Pause wird nur gerade so lang gemacht, als es für die sichere Einstellung der Blickrichtung erforderlich scheint) deckt der Gehülfe durch Entfernung der Deckscheibe das eigentliche Beobachtungsobject für zwei bis drei Secunden auf. Der Beobachter, der natürlich dabei die Fixation streng festzuhalten hat, giebt an, ob er den Fleck überhaupt und ob er ihn hell oder dunkel im Vergleich zu seiner Umgebung gesehen hat. — Dieser Modus der Beobachtung (wir nennen die betr. Versuche „Aufdeckungsversuche“) bot überdies noch den Vortheil, daß er gestattete, jeden Verdacht einer suggestiven Beeinflussung des Beobachters auszuschließen. Der Gehülfe hatte zu diesem Zwecke nur die Stellung der Lampe in einer dem Beobachter nicht bekannten Weise zu verändern. Der Beobachter wußte demgemäß nicht, ob ihm eine richtige Helligkeit vorgezeigt wurde, oder ob die gezeigte Einstellung in dem einen oder anderen Sinne hiervon abwich. Der Versuch dieser Art wurde in der Regel einige Male wiederholt, sodann wurden in der gewöhnlichen Weise einige Gleichungen für das Dunkelauge eingestellt, wobei mit möglichster Raschheit verfahren wurde; schließlic wurde dann noch das Dunkelauge durch einen Aufenthalt von ca. 10 Minuten im hellen Zimmer in den Zustand der Helladaptation übergeführt und nochmals fünf Einstellungen gemacht. In einigen Fällen wurden auch eine Anzahl Aufdeckungsversuche mit dem helladaptirten Auge vorausgeschickt, um ein gewisses Maas für die Sicherheit dieser Beurtheilung zu haben. Die Ergebnisse sind in den nachfolgenden

Tabellen enthalten. Und zwar sind die zunächst erhaltenen Zahlen alle so umgerechnet, daß sie die Beleuchtungsstärke des umgebenden rothen Feldes (in einer willkürlichen Einheit) angeben. Nach der für paracentrale Theile geltenden Regel hätte das Dunkelauge den grüngelben Fleck in stark vermehrter Helligkeit sehen müssen. Es hätte also größere Lichtstärken für das Feld fordern, resp. die dem Hellauge richtigen für zu dunkel erklären müssen. Die als Einstellung aufgeführten Zahlen sind stets das Mittel aus fünf Einstellungen.

5. Februar 1899.

Einstellung des linken helladaptirten Auges: 183.

Beurtheilungen des gleichen Auges in Aufdeckungsversuchen:

Helligkeit des Feldes	Das Feld erscheint
172	Gleich
207	Hell
190	Gleich
155	Dunkel

Beurtheilung des rechten dunkeladaptirten Auges in Aufdeckungsversuchen:

Helligkeit des Feldes	Das Feld erscheint
189	Hell
206	Hell
174	Gleich
160	Dunkel

Einstellung des rechten dunkeladaptirten Auges: 185.

Einstellung des gleichen Auges nach Helladaptirung: 185.

6. Februar 1899.

Einstellung des rechten helladaptirten Auges: 205.

Beurtheilung des linken dunkeladaptirten Auges in den Aufdeckungsversuchen:

Helligkeit des Feldes	Das Feld erscheint
206	Hell
189	Hell
174	Dunkel (Spur)

Einstellung des dunkeladaptirten Auges: 204.

Einstellung des gleichen Auges nach Helladaptirung: 213.

7. Februar 1899.

Einstellung des linken helladaptirten Auges: 186.

Beurtheilung des gleichen Auges in Aufdeckungsversuchen:

Helligkeit des Feldes	Das Feld erscheint
172	Gleich
155	Gleich
207	Hell
155	Dunkel?
227	Hell
139	Dunkel (stark)

Beurtheilung des rechten dunkeladaptirten Auges in den Aufdeckungsversuchen:

Helligkeit des Feldes	Das Feld erscheint
189	Gleich
215	Hell
174	Dunkel
206	Hell?

Einstellungen des dunkeladaptirten Auges: 184.

Einstellung des gleichen Auges nach Helladaptirung: 191.

9. Februar 1899.

Einstellung des linken helladaptirten Auges: 85.

Beurtheilung des gleichen Auges in Aufdeckungsversuchen:

Helligkeit des Feldes	Das Feld erscheint
73	Dunkel
98	Hell
92	Gleich

Beurtheilung des rechten dunkeladaptirten Auges in den Aufdeckungsversuchen:

Helligkeit des Feldes	Das Feld erscheint
92	Hell
87	Gleich (Hell?)
82	Gleich

Einstellungen des rechten dunkeladaptirten Auges: 75,5.

Einstellung des gleichen Auges nach Helladaptirung: 74,3.

Die Betrachtung der Tabelle lehrt, daß die vom Dunkelauge gemachten Einstellungen von denjenigen des Hellauges keine deutliche Abweichung zeigen. Ebenso ergeben die Aufdeckungsversuche, daß die für das Hellauge hergestellten Gleichungen für das Dunkelauge zutreffen, daß bei einer Steigerung der Feldhelligkeit um ca. 10%, wie sie ausreicht, um dem Hellauge

die Gleichung (im Aufdeckungsversuch) als unzutreffend erscheinen zu lassen, auch das Dunkelauge sofort das Feld zu hell sieht. Wir hätten noch hinzuzufügen, daß auch eine Farbdifferenz (verminderte Sättigung des Flecks) niemals bemerkt wurde.¹ Die Versuche zeigten also mit voller Entschiedenheit, daß auch hier trotz der enormen Differenz der Dämmerungswerthe die Gleichungen central durch langen Dunkelaufenthalt nicht modificirt werden.

Bei diesen Versuchen können wir auch eine Angabe über die benutzten Lichtstärken machen, die ihre annähernde Reproducirung für andere Beobachter ermöglicht. Bei der als 207 bezeichneten Beleuchtung nämlich erschien das rothe Feld gleich dem rothen Papier der ROTHE'schen Sammlung, wenn dieses von einer Amylacetat-Lampe aus 64 cm Entfernung beleuchtet wurde. Dies ist eine Helligkeit, welche die Fixirung selbst einer sehr kleinen schwarzen Marke noch mit Sicherheit gestattet.

III.

Daß es ein centrales Feld giebt, für welches die bei Helladaptation eingestellten Gleichungen selbst nach der längsten Dunkeladaptation gültig bleiben, und zwar auch bei der enormen Differenz der Dämmerungswerthe, die hier zur Verwendung kam, schien uns hiernach in zweifelloser Weise festgestellt. Die demgemäß nun anschließenden Versuche über die Ausdehnung dieses Feldes wurden in der folgenden Weise angestellt. Die oben erwähnte mit der Oeffnung versehene rothe Scheibe war auf einem starken Träger befestigt, der seinerseits an dem für die Verschiebung bestimmten Apparat angebracht war. Im Wesentlichen bestand dieser aus einem starken Messingstabe, der mittels einer Tangenschraube um eine Axe gedreht

¹ In einigen Vorversuchen schien allerdings eine kleine Sättigungsdifferenz bemerkbar zu werden. Stets aber stellt sich als Grund der Erscheinung der Fehler heraus, daß schon die Hellgleichung nicht vollkommen zutreffend war. Bei dem kleinen Felde und unmittelbar nach dem Verweilen im hellen Licht ist die Empfindlichkeit gegen Sättigungsdifferenzen keine sehr große. Es war daher zweckmäßig, die Helläquivalenz der Lichter (qualitativ) auf etwas größerem Felde und nach einem Dunkel-aufenthalte von einigen Minuten zu prüfen. Nachdem die Absorptionsflüssigkeit und die Beleuchtungsart des Papiers unter Beobachtung dieser Vorsicht geregelt waren, hat sich eine Sättigungsdifferenz für das dunkeladaptirte Centrum nie beobachten lassen.

wurde und dessen Drehungen an einer Kreistheilung abzulesen waren. Der Apparat konnte in verschiedener Lage benutzt werden, sowohl mit verticaler Drehungsaxe, somit horizontaler Schiebung des Beobachtungsobjects, als mit horizontaler — natürlich frontaler — Axe, also verticaler Schiebung des Objects. Natürlich war Sorge zu tragen, daß die Verlängerung der betr. Axe durch das beobachtende Auge ging, was durch den verwendeten Kopfhalter mit großer Annäherung garantirt wurde. — Wie nach den vorhin erwähnten Vorversuchen zu erwarten, gelang die Grenzbestimmung nach langer Adaptation mit verhältnißmäßig großer Sicherheit. Das genauere Verhalten war dabei das folgende. Indem der Fleck langsam vom Fixationspunkt, natürlich bei streng festgehaltener Fixation, entfernt wurde, fand sich ein bestimmter Punkt, bei dessen Ueberschreitung der Fleck anders als die Umgebung auszusehen begann. Er erschien dann zugleich heller und weißlicher. Bei den relativ geringen Abständen vom Centrum ist die Sehschärfe noch groß genug, um bemerken zu lassen, daß dieses Aussehen zuerst am Rande des Flecks auftritt und dann erst bei noch weiterer Abschiebung desselben seine ganze Ausdehnung ergreift. Jedesmal wurde nun der äußerste Abstand gesucht, bei dem der ganze Fleck noch der Umgebung vollkommen gleich erschien. Bei einigermaßen raschem Verfahren liefs sich dies mittels weniger Hin- und Herbewegungen der Schraube gut einstellen und es zeigte sich insbesondere, daß die Resultate nicht in dem Maße, wie man im Voraus hätte befürchten können, durch die natürlich im Verlaufe des Versuches zurückgehende Adaptation beeinträchtigt werden. Vielmehr gelang es immer, vier bis fünf Einstellungen zu machen, die gut unter einander übereinstimmten und kein Hinausrücken der Grenze erkennen liefsen. Hinzuzufügen ist aber noch, daß bei weiterer Entfernung des Flecks von der Fixir Marke nochmals ein Punkt bemerkbar wurde, in dem sich mit einer annähernd ähnlichen Schärfe das Aussehen des Flecks fast plötzlich änderte. Die matt weißliche Erscheinung desselben erfuhr hier eine rapide Veränderung durch das Auftreten einer sehr beträchtlichen Helligkeitssteigerung, so daß man von einem förmlichen Aufleuchten des Flecks reden kann.

Die Ergebnisse dieser Versuche sind in der nachstehenden Tabelle zusammengefaßt. Die Zahlen sind sämtlich Mittelwerthe aus fünf Einstellungen und geben in Winkelminuten die

äußerste Stellung an, bei der Fleck und Umgebung vollkommen gleich erschienen. Die Bezeichnungen Nasal und Temporal beziehen sich auf das Gesichtsfeld (nicht die Netzhaut).

Grenzen des des PURKINJE'schen Phänomens ermangelnden Bezirks.

Nr.	Datum des Versuchs	Nasal	Temporal	Oben	Unten	Bemerkungen
Rechtes Auge	1. 30. XI. 98	43'	58'			Dunkler Fixirpunkt. Dunkeladaptation 7½ bis 9½ Stunden.
	2. 1. XII. 98	44'	54'			
	3. 2. XII. 98	42'	58'			
	4. 3. XII. 98	48'	59'			Heller Fixirpunkt. 7 St. Adaptation. Dunkler Fixirpunkt.
	5. 5. XII. 98	45'	51'			
	6. 7. XII. 98	41'	50'			Andere grüne Flüssigkeit. Dunkler Fixirpkt.
	7. 9. XII. 98	41'	47'			
	8. 2. VI. 99	36'	42'			
	9. 4. VI. 99	33'	39'			
Mittel:		41'	51'			
Linkes Auge	1. 29. III. 99	40'	29'			2—3 Stunden Adaptation. 6 Stunden Adaptation 5 Stunden Adaptation Fixirpunkt dunkel
	2. 29. III. 99	45'	32'			
	3. 6. V. 99	40'	30'			
	4. 7. V. 99	37'	28'			
	5. 3. VI. 99	42'	40'			
Mittel:		41'	32'			
R. Auge	1. 21. XII. 98			42'	28'	8—10 Stunden Dunkeladaptation.
	2. 22. XII. 98			38'	27'	
	3. 23. XII. 98			38'	26'	
Mittel:				39'	27'	

Um die Ausdehnung desjenigen Bezirks zu berechnen, der hier in Betracht kommenden Function ermangelt, ist zu

berücksichtigen, daß die Verschiebungen in entgegengesetzten Richtungen von demselben Punkte aus (Lage der Fixirmarke in der Mitte des Flecks) gerechnet sind, und daß, wie erwähnt, die äußerste Einstellung gesucht wurde, bei welcher anzunehmen war, daß der Fleck noch ganz auf dieses Gebiet fiel. Der Summe der gemessenen Verschiebungen ist somit noch die Breite des Flecks mit $0,25^\circ$ hinzuzuzählen. Wir erhalten so für die horizontale Ausdehnung 107' im rechten, 88' im linken Auge, im verticalen Durchmesser (für das rechte Auge) 81'.

Der Bezirk ist, wie man sieht, relativ klein, nicht kreisrund, sondern horizontal von größerer Ausdehnung als vertical. Beachtenswerth ist die Lage des Fixationspunktes in dem betr. Bezirk: sie ist keine centrale. Das Gleiche ist auch bei analogen Beobachtungen schon bemerkt worden.¹ Während sich aber damals zunächst die Anschauung darbot, daß hier ein symmetrisches Verhalten vorläge und der betr. Bezirk sich beiderseits temporal weiter erstreckte als nasal, ist hier die Abweichung eine gleichliegende. Man könnte sich also vorstellen, daß annähernd identische Bezirke rechter- und linkerseits des Dunkelapparats ermangeln, daß aber nicht gerade mit der Mitte dieses Bezirks fixirt wird. Eine bestimmte Regel läßt sich natürlich umso weniger aufstellen, als die Erstreckung hier in beiden Augen ungleich erscheint.

Wir haben uns bemüht dem Versuche eine Form zu geben, in der er nicht gar zu umständlich ist, so daß seine Ausführung durch eine etwas größere Zahl von Personen einigermaßen durchführbar erscheint. Zu diesem Zwecke wurde in Aquarellfarben ein Gelbgrün hergestellt, welches einem rothen Papier der ROTHE'schen Sammlung für den Deuteranopen genau gleich erschien und zwar bei Kerzenbeleuchtung. Auch so konnten helläquivalente Farben gewonnen werden, deren Dämmerungswerthe ungemein stark verschieden waren. Von dem grüngelben Papier wurden kleine runde Scheiben ausgestanzt und auf den rothen Grund aufgeklebt. Aus einer Entfernung von ca. 80 cm beobachtet erschien das grüne Scheibchen unter einem Gesichtswinkel von etwa $\frac{1}{3}$ Grad. Das Object wurde in einen Rahmen geschoben, dergestalt, daß sich vor ihm ein schwarzer Seiden-

¹ Vgl. J. v. KRIES. Ueber die absolute Empfindlichkeit der verschiedenen Netzhauttheile im dunkeladaptirten Auge. *Zeitschr. f. Psychol.* 15, 327 und SAMOJLOFF. Zur Kenntniß der nachlaufenden Bilder. *Zeitschr. f. Psychol.* 20, 124.

faden befand mit einem als Fixirmarke dienenden Knötchen. Die von dem Einen von uns hergestellte Gleichung erwies sich stets als auch für andere Deuteranopen mit größter Annäherung zutreffend. Es war daher nur noch zu ermitteln, ob diese Gleichung auch nach langer Dunkeladaptation zutrifft. Dies kann verhältnismäßig leicht geprüft werden, da es nur nothwendig ist, während der Nacht einmal eine Kerze zu entzünden (natürlich unter den selbstverständlichen Vorsichtsmaafsregeln, um die gewonnene Adaptation nicht zu beeinträchtigen) und zu prüfen, ob die Gleichung alsdann zutrifft. Der Versuch ist in dieser Weise von zwei anderen Deuteranopen gemacht worden. Auch diese konnten constatiren, daß für das Dunkelauge der Fleck bei peripherer Betrachtung ungemein hell erscheint. Bei Fixation der Marke sahen aber auch sie diese Differenz vollkommen verschwinden. Der Eine gab an, daß der Fleck verschwinde, der Andere meinte ihn sogar central etwas dunkler zu sehen. Kann auch die Bedeutung derartiger Versuche nicht mit der von messenden verglichen werden, so zeigen sie doch sicher, daß auch hier von PURKINJE'schem Phänomen nichts zu bemerken war, unter Bedingungen, die für seine Beobachtung gewiß noch viel günstiger waren, als sie beim Trichromaten überhaupt erreicht werden können.

IV.

Wiewohl die Bedingungen für die analogen Prüfungen beim Trichromaten außerordentlich viel ungünstiger als beim Dichromaten liegen, erschien es doch geboten, die betr. Versuche auch anzustellen, schon im Hinblick auf die positiven Befunde, die hier angegeben worden sind. Die Beobachtungen dieser Art hat der Aeltere von uns ausgeführt und zwar in der folgenden Weise. Da hier auf die Benutzung spectraler Lichter jedenfalls nicht verzichtet werden durfte, andererseits bei der erforderlichen Kleinheit der Felder die Verwendung der Fleckmethode auch höchst wünschenswerth erschien, so war für die gestellte Aufgabe das gegebene Verfahren dies, daß der HELMHOLTZ'sche Farbenmischapparat mit einem LUMMER'schen Würfel versehen wurde. Dieser, nach unseren Angaben von der Firma SCHMIDT & HAENSCH angefertigt, versetzte einen kleinen von dem Lichte des einen Collimators erleuchteten Kreis in die Mitte eines von dem Lichte des anderen Collimators erhellten Feldes. Fleck und

Umgebung stoßen dabei in der dem LUMMER'schen Würfel eigenthümlichen tadellosen Weise aneinander. Der Durchmesser des inneren Feldes betrug hierbei $0,5^\circ$. Dem umgebenden ringförmigen Felde konnte bei den Dimensionen des Apparates eine Größe von etwa 2° gegeben werden. Die Einrichtung wurde endlich noch durch ein an der Irisblende angebrachtes Fadenkreuz vervollständigt, welches die Fixationsmarke zu geben hatte.

Die sonst benutzten Einrichtungen wurden außerdem noch in einer wichtigen Beziehung modificirt. Es ist, wie wiederholt bemerkt worden ist, bei allen längerdauernden Versuchen an Farbmischapparaten eine sehr lästige Schwierigkeit, daß die beiden Collimatoren ihr Licht von verschiedenen Lampen bekommen. Da man nun der Constanz der Lichtquellen, resp. worauf es wesentlich ankommt, eines constanten Verhältnisses zwischen beiden nicht sicher ist, so kommt auch in die Gleichungen eine Unsicherheit hinein, deren Nachtheile immer durch besondere Verfahrensweisen unschädlich gemacht werden müssen. Im gegenwärtigen Falle konnte, da keine großen Helligkeiten erfordert wurden, die gleiche Lichtquelle zur Erleuchtung beider Collimatoren verwendet werden. Zu diesem Behufe wurde ein Auerbrenner mit Milchglasglocke in ein Gehäuse aus Eisenblech eingeschlossen, das mit zwei Oeffnungen versehen war, so daß das Licht auf zwei vor den beiden Collimatoren des Farbmischapparates aufgestellte Spiegel fiel. Die Menge des im Zimmer zerstreuten Lichtes war hierbei immer noch gering; ein am Ocularrohr angebrachter innen geschwärzter Pappkasten schützte den Beobachter sehr vollständig vor demselben.

Die ersten Versuche, die mit dieser Einrichtung angestellt wurden, betrafen die Vergleichung eines homogenen Natrium-Gelb mit einem aus Roth (Lithium) und Gelb-Grün (Thallium) gemischten Gelb. Es ist schon früher angegeben worden, daß solche Lichter, wenn sie helläquivalent sind, erheblich ungleiche Dämmerungswerthe besitzen. Das Verhältniß kann nach einer Ueberschlagsberechnung (die freilich die Maculapigmentirung außer Acht lassen muß) auf 1 : 6 veranschlagt werden.

Die Versuche dieser Art wurden mit zweistündiger Adaptationsdauer gemacht. Da hier die Beobachtungen nur mit dem linken Auge angestellt werden konnten, so enthalten

die nachfolgenden Zusammenstellungen immer die unmittelbar vor der Dunkeladaptation gemachten Einstellungen, sodann die von dem dunkeladaptirten Auge gemachten und schliesslich die von dem gleichen Auge erhaltenen, nachdem es wieder für ca. 10 Minuten für Hell adaptirt worden war.

Dem homogenem Gelb gleich erscheinende Menge des Roth-Grün-Gemisches.

I. (11. October 1899.)

Helladaptirt vorher			72,1	
	Dunkeladaptirt	{	71,3	
			67,2	
			68,5	Mittel: 70,0
			71,6	
			71,2	
Helladaptirt nachher			70,5	

II. (12. October 1899.)

	Dunkeladaptirt	{	67,2	
			67,7	
			65,0	Mittel: 66,8
			67,3	
Helladaptirt nachher			66,2	

III. (16. October 1899.)

Helladaptirt vorher			65,7	
	Dunkeladaptirt	{	66,1	
			69,0	
			68,8	Mittel: 67,2
			68,1	
			64,2	
Helladaptirt nachher			72,4	

IV. (16. October 1899.)

Helladaptirt vorher			71,6	
	Dunkeladaptirt	{	69,5	
			71,4	
			68,6	Mittel: 70,4
			71,2	
			71,8	
Helladaptirt nachher			70,1	

V. (19. October 1899.)

Helladaptirt vorher			66,6	
	}			
		65,5		
		66,2		
Dunkeladaptirt		65,1	Mittel:	66,5
		68,8		
			67,0	
Helladaptirt nachher.			67,9	

Im Sinne der für die Peripherie geltenden Regel wäre es gewesen, wenn die für die Roth-Grün-Mischung hergestellten Spaltweiten durch die längere Dunkeladaptation heruntergegangen wären. Es liegt, wie man sieht, in den Zahlen keinerlei Hindeutung auf ein solches Verhalten.

So wenig es auch wahrscheinlich war, daß durch noch längere Bemessung des Dunkelaufenthaltes noch etwas zur Beobachtung kommen würde, wovon nach zwei Stunden keine Spur zu entdecken war, so wurde doch auch noch in einigen weiteren Versuchen die Adaptation auf ganz lange Zeiten (ca. 10 Stunden) in der vorher bereits erwähnten Weise (Nachtadaptation) erstreckt.

Ein Versuch dieser Art, bei dem gleichfalls homogenes und gemischtes Gelb zu vergleichen war, lieferte folgendes Resultat, für dessen tabellarische Darstellung nur zu beachten ist, daß hier der Fleck mit dem Gemisch, der Ring mit dem homogenen Gelb erleuchtet war, demzufolge hier die Lichtstärke des letzteren variirt und eingestellt wurde. Nach der für paracentrale Theile geltenden Regel hätte sie durch Dunkeladaptirung ansteigen müssen.

Menge des einer constanten Roth-Grün-Mischung gleich erscheinenden homogenen Gelb.

4. Januar 1900.

Helladaptirt vorher			37,3	
	}			
		36,0		
		38,8		
Dunkeladaptirt		37,0	Mittel:	37,6
(ca. 10 Stunden)		36,9		
			39,5	
Helladaptirt nachher.			37,4	

Es wurden schliesslich noch Versuche mit zwei verschiedenen Weisstmischungen (Roth-Blaugrün und Gelb-Blau), gleichfalls mit Nachtadaptation, gemacht, ein Verfahren, das zwar im Voraus noch weniger Chance bot, das wir aber nicht übergehen wollten, da es gerade das von TSCHERMAK benutzte ist. In zwei Versuchen fand sich hier Folgendes:

Mengen des Gelb-Blau-Gemisches,
das einem constanten aus Roth und Grün
gemischten Weifs gleich schien.

I. (3. Januar 1900.)

Helladaptirt vorher	33,1			
		{		
			33,0	
			34,6	
Dunkeladaptirt			32,5	Mittel: 33,3
			32,2	
		34,4		
Helladaptirt nacher (nach längerem Aufenthalt im Freien)	33,8			

II. (2. Januar 1900.)

Beleuchtetes Papier statt der Spiegel. Lichtstärke der Felder sehr gering.

Helladaptirt vorher	140,6			
		{		
			139	
			140	
			163(?)	
			150	
Dunkeladaptirt			129	Mittel: 141,8
			138	
			138	
			149	
			121(?)	
		151		
Helladaptirt nachher.	146,7			

Wir wollten, nachdem wir in den Besitz dieser in vieler Beziehung den früher benutzten Anordnungen überlegenen Einrichtung gekommen waren, nicht unterlassen, sie auch zu Beobachtungen über das dichromatische Sehorgan zu benutzen. Eine Messung des Bezirks war hier allerdings nicht wohl ausführbar. Dagegen gestattet der Apparat, zwei beliebig zu wählende

spectrale Lichter nach der Fleckmethode zum Vergleich zu bringen, und so konnten denn helläquivalente Lichter mit noch erheblich stärkerem Unterschied der Dämmerungswerthe, als in den früheren Versuchen, benutzt werden.

Wir wählten hierzu die Combination von Lithium-Roth mit einem Gelbgrün von etwa $540 \mu\mu$. Dieses Lichterpaar giebt bei centraler Beobachtung und helladaptirtem Auge noch eine tadellose Gleichung; nimmt man die Intensitäten ziemlich gering, so gelingt es, den gelbgrünen Fleck auf dem rothen Grunde fast zum völligen Verschwinden zu bringen. Ueber das Verhältniß der Dämmerungswerthe zweier solcher Lichter können wir keine numerische Angabe machen, da der Dämmerungswerth des Li-Roth so gering ist, daß er sich nicht mehr bestimmen liefs.¹ Er dürfte aber wohl sicher weniger als den 200sten Theil von dem des Gelbgrün betragen; dem dunkeladaptirten Auge erscheint daher die Anordnung wie ein leuchtender Fleck auf tiefdunkeln Grunde. Auch hier, wo die Gegensätze so sehr als möglich auf die Spitze getrieben sind, wurde die bei Helladaptirung gemachte Einstellung wiederholt nach längerer und kürzerer Dunkeladaptation geprüft und stets bei Fixation des Fadenkreuzes die Gleichung zutreffend gefunden.² Die Ausdehnung des Flecks betrug hier, wie vorher erwähnt, $0,5^\circ$.

V.

Das Ergebniß der obigen Mittheilungen kann kurz dahin zusammengefaßt werden, daß von der hier zum Gegenstand der

¹ Vgl. J. v. KRIES und W. NAGEL. *Zeitschr. f. Psychol.* 12, S. 57.

² Die einzige Ausnahme, die bemerkt worden ist, soll, wiewohl sie auf einem Versuchsfehler beruht haben dürfte, nicht unerwähnt bleiben. Einmal nämlich sah, nach Nachtadaptation, das Dunkelauge den Fleck in verminderter Sättigung. Die Controlbeobachtung mit dem anderen Auge zeigte aber, daß auch dieses den Fleck blasser sah. Da in diesem Falle auch das letztere Auge in der Frühe eines dunkeln Wintertags nur geringe Mengen von Lampenlicht, Tageslicht so gut wie gar nicht erhalten hatte, so haben wir uns die Frage vorgelegt, ob die Verdunkelung auch des anderseitigen Auges etwa von Einfluß auf die Erscheinung sei. Die Wiederholung des Versuchs mit der Vorsicht, daß das eine Auge in der gewöhnlichen Weise vollständig vor Licht geschützt war, das andere auch nur minimale Mengen erhielt, ergab aber nur die Gültigkeit der Gleichung für beide Augen. Das Auftreten des Sättigungsunterschiedes ist also ein vereinzelter Fall geblieben, den wir mit der Adaptation in keine erkennbare Beziehung bringen konnten.

Untersuchung gemachten Erscheinung in einem kleinen centralen Netzhautbezirk in der That auch nicht die geringste Spur nachgewiesen werden konnte. Erwägt man, daß es sich dabei um eine Erscheinung handelt, die peripher von einer so augenfälligen Deutlichkeit ist, daß sie selbst bei sehr reducirtem Betrage nicht übersehen werden könnte, so wird man nicht leugnen können, daß die Thatsachen auf irgend eine im Centrum vollkommen fehlende Besonderheit hinweisen, mag nun diese in einem anatomischen Gebilde, einer chemisch definirten Substanz oder worin sonst immer zu suchen sein. Für die allgemein von uns vertretene Anschauung, daß der Mangel der Stäbchen und des Purpurs in dieser Thatsache zum Ausdruck komme, und daß andererseits die purpurhaltigen Stäbchen die Organe des central vermissten charakteristischen Dämmerungssehens seien, wird man hierin wohl zunächst bestätigt finden dürfen. Dagegen dürften die Thatsachen vorderhand noch nicht genügen, um diese Auffassung in speciellerer Weise auszuführen und gewisse schon mehrfach von uns als noch offen bezeichnete Fragen zu entscheiden. Denkbar erscheint es ohne Zweifel, daß außerhalb jener engen in den Tabellen dargestellten Grenzen einzelne versprengte Stäbchen aufzutreten beginnen, und daß die weitere Begrenzung, jenseit deren ein „Aufleuchten“ des gelbgrünen Flecks bemerkt wurde, den Beginn einer regelmäßigen Gruppierung der Stäbchen um die Zapfen (Stäbchenkränze) bezeichnet. Man wird zugeben müssen, daß nach dem, was zur Zeit bekannt ist, die geringe Größe des gefundenen Bezirks einigermassen, wenn auch gewiß nicht entscheidend, gegen diese Auffassung spricht. In der That giebt KOSTER die Größe des ganz stäbchenfreien Bezirks auf etwa 2° an, während wir horizontal nur 1,4 resp. 1,8, vertical noch weniger finden. Doch ist wohl das Material sowohl auf der anatomischen wie auf der physiologischen Seite noch zu spärlich, als daß dieser Abweichung sehr große Bedeutung beigemessen werden könnte. — Neben dieser ersten Auffassung wird aber zur Zeit jedenfalls auch die andere, von dem Einen von uns schon mehrfach angedeutete Möglichkeit im Auge zu behalten sein, daß für das Dämmerungssehen nicht sowohl die Stäbchen als der Sehpurpur die unerläßliche Bedingung sei. Die objectiv feststellbaren Thatsachen lehren ja, daß zweierlei Dinge, die Sehpurpurbildung und die Stäbchen, central fehlen; nehmen wir an, daß der Purpur

im Wesentlichen dazu bestimmt ist, als Sehstoff in den Stäbchen zu functioniren, so wird man danach wohl erwarten können, daß die innere Grenze der Purpurbildung mit derjenigen der Stäbchen annähernd zusammentrifft, ohne doch eine ganz genaue Coincidenz als selbstverständlich postuliren zu können. Stellt man sich also vor, wofür ja manche Erscheinungen sprechen, daß ein außerhalb der Stäbchen befindlicher Sehpurpur auch auf Zapfen erregend einwirke, so könnte man wohl daran denken, daß die innere Grenze durch das centrale Fehlen der Purpurbildung gegeben sei und in einem etwas größeren Abstände vom Centrum das Auftreten der ersten Stäbchen das „Aufleuchten“ bewirke. Es wäre ohne Zweifel verfrüht, diese Vorstellungen gegenwärtig eingehender zu verfolgen, umsomehr als sich hoffen läßt, daß wir von anatomischer Seite über die Größe des stäbchenfreien Bezirks, von physiologischer über die Größe des Feldes, in dem ein Fehlen des Dunkelapparates anzunehmen wäre, noch Weiteres erfahren werden.

Kommen wir nach unseren Befunden nochmals auf die Angaben von TSCHERMAK zurück, so wird zu sagen sein, daß unsere Erfahrungen auch für jene scheinbar abweichenden ein gewisses Verständniß eröffnen. Bei centraler Fixation eines Feldes von 2° Durchmesser mit verticaler Trennungslinie würde ein Uebergreifen des Objectes über den des Dunkelapparats ganz ermangelnden Bezirk zu erwarten sein, auch wenn wir annähmen, daß die Größe dieses Bezirks und die Lage des Fixationspunktes in ihm, für T. genau die gleiche wäre wie für N. Es erscheint in der That recht denkbar, daß T. durch „Compromiß-Einstellungen“, vor denen HERING selbst so nachdrücklich gewarnt hat, getäuscht worden ist. Man wird danach eine Wiederholung seiner Versuche mit kleineren Feldern und nach der Fleckmethode sehr wünschen müssen. Selbstverständlich aber erscheint, namentlich bei der zweiten der vorhin erwähnten Auffassungen, wonach eine Spur der Dunkelfunction durch den Purpur auch ohne Stäbchen gegeben sein könnte, das Vorkommen erheblicher individueller Unterschiede nicht ausgeschlossen. Solche zu erörtern wird indessen erst angezeigt sein, wenn sie sicher nachgewiesen sind, was unseres Erachtens gegenwärtig noch nicht gesagt werden kann.

Es sei uns aber hier zum Schlusse gestattet, noch eine allgemeine Bemerkung über die Auffassung und Deutung der

hierhergehörigen Erscheinungen anzuknüpfen. Es wäre unseres Erachtens verkehrt, aus jeder Inconstanz der optischen Valenzen oder jeder Beeinflussung von Mischungsgleichungen durch die Adaptation auf ein combinirtes Functioniren zweier Apparate schliessen zu wollen. Man wird vielmehr wohlthun zu beachten, daß eine absolute Constanz der Valenzen überhaupt nicht als Postulat irgend einer theoretischen Anschauung gelten kann.

Die Gewohnheit, in einem völlig abstracten Sinne von Substanzen und Valenzen zu reden, ist wohl nicht ohne Einfluß darauf gewesen, wenn man geglaubt hat, eine solche erwarten zu dürfen. Auf dem Boden einer solchen, die realen Verhältnisse doch wohl weniger als zweckmäfsig berücksichtigenden Anschauung hat man gelegentlich eine Veränderung der Valenzen geradezu einer Veränderung der Atomgewichte verglichen. TSCHERMAK hat mit Recht darauf hingewiesen, daß bei gefärbten Stoffen schon die Abhängigkeit der Absorptionsverhältnisse von der Concentration zu beachten ist; wird ein Lichterpaar so abgeglichen, daß bei einer bestimmten Concentration von beiden gleiche Energiemengen absorbiert werden, so kann es sein, daß dies bei einer anderen Concentration des absorbirenden Körpers nicht mehr zutrifft. Macht man sich einmal klar, daß das, was wir Valenz nennen, ein Ergebnifs immer sehr zahlreicher verschiedener Factoren ist, so wird man auch die Constanz der Valenzen für den trichromatischen Apparat nicht ohne Weiteres als eine absolute postulieren wollen. Für die Dämmungswerthe liegen die Dinge ähnlich. Auch hier ist zwar eine Constanz derselben in erster Annäherung gefunden worden, aber ob diese Constanz wirklich als eine absolute genommen werden darf, das kann doch mit gutem Grunde bezweifelt werden. Die Bedeutung einer physikalischen Constanten im strengen Sinne des Wortes kann naturgemäfs ein derartiger physiologischer Werth nicht haben.

Man wird vielleicht fragen, ob denn nicht durch eine solche Vorstellung den Argumenten, auf die die Stäbchentheorie überhaupt gestützt wurde, der Boden entzogen wird. Wir glauben aber nicht, daß man dies sagen kann. Denn es wird eben immer ein fundamentaler Unterschied bleiben, ob die Verhältniszahlen physiologischer Aequivalenz sich um einige Procente ändern oder ob sie in eine ganz andere Gröfsenordnung rücken, wie dies in denjenigen Fällen geschieht, wo uns der

Schluss auf das Eintreten eines anderen Apparates gerechtfertigt erscheint.

Wer die Erscheinungen nur aus den relativ geringen Andeutungen kennt, in denen sie meist beim Trichromaten beobachtet werden, der wird immer in Gefahr sein, sich hiervon eine durchaus unzutreffende Vorstellung zu machen. Eine solche wird noch näher gelegt durch die sehr unbestimmte Formulirung, dass zwischen dem Netzhautcentrum und der Peripherie ein nur quantitativer Unterschied bestehe. Denn gesetzt auch, dass dies richtig wäre (wir haben uns ja vorderhand nicht davon überzeugen können), so wird man eben doch berücksichtigen müssen, von welchem Betrage solche quantitative Unterschiede sind. Blut und Wasser zeigen, wenn man so will, in ihrer Fähigkeit Sauerstoff aufzunehmen auch nur quantitative Unterschiede. Man wird aber wohl im Allgemeinen die Berechtigung anerkennen müssen, aus quantitativen Unterschieden eines Erfolges auf einen qualitativen Unterschied in den Bedingungen zu schließen.

(Eingegangen am 3. Mai 1900.)
