

(Aus der physikalischen Abtheilung des Physiologischen Instituts zu Berlin.)

Die Aenderungen der Pupillenweite durch verschiedenfarbige Belichtung.

Von

Dr. G. ABELSDORFF.

(Mit 3 Fig.)

Die Abhängigkeit der Pupillenweite von der Menge des einfallenden Lichtes trägt den Charakter der Zweckmäßigkeit in zweifacher Hinsicht: das Auge wird mit steigender Helligkeit durch die Pupillenverengung vor den schädlichen Nebenwirkungen des Lichtes geschützt, zugleich nimmt mit der Enge der Lichtkegel auch die Schärfe des Netzhautbildes zu. Die Richtigkeit des Satzes, daß Veränderungen der Helligkeit Veränderungen der Pupillengröße bewirken, wird nur insofern zweifellos anerkannt, als derselbe auf gleichfarbiges Licht bezogen wird. Wie die Pupillarreaction durch successive Bestrahlung der Netzhaut mit verschiedenfarbigem Lichte beeinflusst wird, ist eine Frage, die trotz des hohen theoretischen Interesses erst wenig Berücksichtigung gefunden hat. Noch in der zweiten Auflage seines Handbuchs der physiologischen Optik (S. 444) betont HELMHOLTZ den hier vorhandenen Mangel an experimentellen Beobachtungen. Dieselben müssen bei der großen Unsicherheit, die der Helligkeitsvergleichung verschiedener Farben, der sogenannten heterochromen Photometrie anhaftet, um so wünschenswerther erscheinen: kommt auch derjenigen Farbe, die uns heller erscheint, die stärkere Wirkung auf das pupillenverengende Centrum zu? Wenn SCHIRMER¹ schon mit Recht ganz allgemein betont hat, daß die Pupillarreaction vom „Verhältnis der äußeren Helligkeit zum Adaptationszustande der Retina“ abhängig ist, so läßt sich erwarten, daß bei farbigen Lichtern die Wichtigkeit dieses

¹ O. SCHIRMER. Untersuchungen zur Physiologie der Pupillenweite. v. GRAEFES *Arch. f. Ophthalm.* 40 (5), 8. 1894.

Verhältnisses noch mehr in den Vordergrund treten wird. Die Abhängigkeit der Helligkeitsempfindung der Farben von dem Adaptationszustande des Auges ist ja gerade in den letzten Jahren besonders untersucht und hervorgehoben worden. Zeigt die Pupillarreaction dieselbe Abhängigkeit? Ich brauche nur zu erinnern an das sogenannte PURKINJE'sche Phänomen, selbst in der alten, die Veränderung der Lichtstärke ausschließlich berücksichtigenden HELMHOLTZ'schen Auffassung, „wenn¹ ein rothes und blaues Papier bei Tageslicht gleich hell aussehen, so erscheint bei Einbruch der Nacht das blaue heller, das rothe oft ganz schwarz“, und man sieht, daß der einfache Nachweis des Satzes, daß von farbigen Lichtern das hellste auch die stärkste Pupillenverengung hervorbringt, wenig besagen würde; möglicherweise könnte er nur für eine bestimmte Intensität des Lichtes und etwa den gewöhnlichen mittleren Helladaptationszustand des Auges Gültigkeit haben.

Ohne den Werth der Experimente SACHS'² zu unterschätzen, dem das Verdienst gebührt, zuerst den „Einfluß farbiger Lichter auf die Weite der Pupille“ geprüft zu haben — ich komme noch mehrmals auf dieselben zurück —, glaube ich doch, daß die im Folgenden wiedergegebenen Beobachtungen das berührte Problem noch etwas weiter gefördert haben. SACHS' Versuche beschränkten sich auf die Prüfung mit Pigmentpapieren; ich benutzte monochromatisches Licht, und zwar läßt sich die Frage, die ich mit Anwendung desselben beantworten wollte, kurz so zusammenfassen: Welcher Reizwerth für die Bewegungen der Iris kommt den einzelnen Farben des Spectrums zu, stimmt die Vertheilung dieser Werthe mit derjenigen unserer Helligkeitsempfindung überein? Das so formulirte Problem schließt schon eine weitere Frage in sich: nachdem besonders von HERING die Wichtigkeit des Adaptationszustandes für die Empfindungswerthe der Helligkeit hervorgehoben und gezeigt worden, daß die HELMHOLTZ'sche Auffassung des PURKINJE'schen Phänomens als einer durch Herabsetzung der Lichtstärke bedingten Erscheinung unzureichend sei, daß vielmehr die Stimmungsänderung der betroffenen Sehfeldstellen eine wesentliche Rolle spiele, mußte diesem Umstande dadurch Rechnung getragen werden, daß die Einwirkung mono-

¹ H. HELMHOLTZ. Handbuch d. physiolog. Optik, 1. Aufl., S. 317.

² M. SACHS. Ueber den Einfluß farbiger Lichter auf die Weite der Pupille. PFLÜGER's Arch. f. d. ges. Physiologie 52, 79. 1892.

chromatischen Lichtes auf die Grösse der Pupille nicht nur bei verschiedener Intensität, sondern auch bei verschiedenem Adaptationszustande des Auges geprüft wurde.

Pigmentfarben verwendete ich nur zu einigen orientirenden Versuchen¹, zu den definitiven dagegen Spektralfarben.

Es stand mir hierfür der HELMHOLTZ'sche von A. KÖNIG modificirte Farbenmischapparat zur Verfügung. Im Ocularspalte des Beobachtungsrohrs desselben sieht man, nach dem das Spectrum entwickelnden Prisma blickend, zwei durch eine verticale Linie getrennte Felder, welchen in den folgenden Versuchen stets verschiedene Färbung gegeben wurde. Bei der gewöhnlichen Beobachtung erblickt man natürlich beide Felder zugleich, für die in Rede stehende Frage war die Anordnung aber so zu treffen, daß zwei Farben nicht neben, sondern nach einander die Netzhaut reizen konnten. In etwas primitiver, aber die Methode veranschaulichender Weise erreicht man das letztere leicht, wenn man ungefähr einen halben Meter vom Ocularspalt entfernt, nach demselben blickend, den Kopf etwas seitlich bewegt; man sieht dann, je nachdem sich das Auge rechts oder links von der Fernrohraxe befindet, die betreffende Farbe des rechten oder linken Feldes auftauchen. Die im Ocularspalte, der im Brennpunkt des Fernrohrobjectivs gelegen, vereinigten Lichtstrahlen, divergiren, wenn sie aus dem Spalte wieder austreten, mit der Entfernung vom Spalte nimmt die Divergenz zu, und nur ein Theil des im Ocularspalte vereinigten Lichtbündels füllt die Pupille des Beobachters aus. So kommt die beschriebene Erscheinung zu Stande, daß nur das eine oder andere der beiden Felder bei seitlicher Abweichung des Auges von der Axe des

¹ Bei Pigmentpapieren war es oft schwer, wenn nicht unmöglich, ein Grau von gewünschter Helligkeit unter den käuflichen Papieren zu finden. Auch die MARBE'sche Methode, Grau von verschiedener Helligkeit auf photographischem Wege darzustellen (K. MARBE, Neue Methode zur Herstellung homogener grauer Flächen von verschiedener Helligkeit, *diese Zeitschr.* 12, 62), führte nicht immer zum Ziele. Ich pflichte dem Verf. bei, daß es leicht gelingt, mit Platinpapier zahlreiche Helligkeitsstufen von Grau herzustellen; die Schwierigkeit beginnt aber dann, wenn die Darstellung einer zwischen zwei schon vorhandenen Stufen liegenden Helligkeit erforderlich ist. Um in diesem Falle die Expositionszeit richtig zu berechnen, ist nicht nur eine genau constante Beleuchtung, sondern auch Papier von nicht variirender Lichtempfindlichkeit nothwendig, selbst wenn Zeit und Art der Entwicklung genau innegehalten wird.

Fernrohrs wahrgenommen wird. Da zur fehlerfreien Beobachtung des Einflusses der Farben auf die Pupillengröße aber eine fixirte Haltung des Kopfes und Auges wünschenswerth erschien, schaffte ich auf den Vorschlag Herrn Professor A. KÖNIG's für die Kopfbewegungen einen optischen Ersatz. Vor den Ocularspalt wurde ein seitlich leicht bewegliches Zwillingsprisma von geringer Dispersion geschoben, das je nach seiner Stellung die seitlich divergirenden Strahlen nach der Mittellinie zu ablenkte, so daß schnell hinter einander die homogenen Lichter beider Felder zur Wirksamkeit gelangen konnten. Bei dem geringen mittleren Ablenkungswinkel des Crown Glas-Prismas von $1^{\circ} 10'$ und der damit gegebenen schwachen Dispersion konnte dasselbe Prisma für alle benutzten Spectralfarben verwendet werden. Zur Feststellung der Aenderungen der Pupillengröße erschien mir nach verschiedenen Versuchen am zweckmäßigsten, dieselben entoptisch zu beobachten, indem ich durch Vorsetzen eines starken Convexglases vor mein emmetropisches Auge von dem als leuchtendem Punkte erscheinenden Ocularspalte einen Zerstreuungskreis entwarf, dessen der Verengung oder Erweiterung der Pupille entsprechende Verkleinerung oder Vergrößerung gut wahrnehmbar ist.

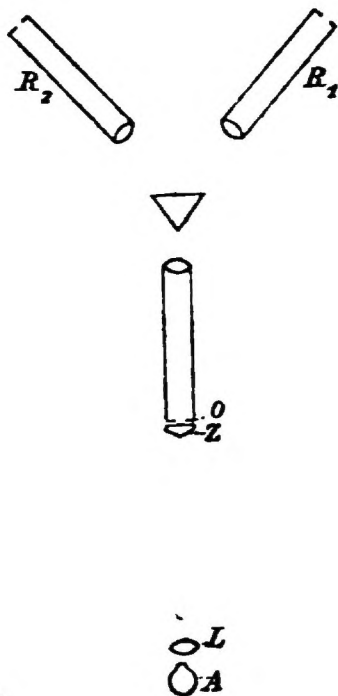


Fig. 1. Schema der Versuchsanordnung.

Die Versuchsanordnung gestaltete sich hiernach, wie folgt (cf. Fig. 1): Das accommodationslos fixirende Auge *A* des Beobachters befand sich 55 cm entfernt vom Ocularspalte *O* in der verlängerten Axe des Fernrohrs, der Kopf war durch eine Kinnstütze fixirt, dicht vor dem Auge steckte in einem festen Halter eine Convexlinse *L* von 10 cm Brennweite. Vor dem Ocularspalte stand das Zwillingsprisma *Z* in Schlittenführung, so daß der Beobachter es schnell und leicht an einem Schnurlaufe bewegen und so die in Frage kommenden Farben momentan ohne Zwischenraum hinter einander einwirken lassen konnte. Ein schwarzer Pappcylinder reichte von der Linse *L* mit konischem Ende bis zum Ocularspalte *O*, um das diffuse

Licht abzuhalten, weil sonst in dieser Entfernung die Farben einen zu kleinen Bruchtheil der gesamten Beleuchtung gebildet

hätten. Zur Prüfung des Einflusses der Adaptation war diese Vorkehrung unerwünscht, sie liefs ihn aber, wie aus dem Folgenden hervorgehen wird, noch genügend zur Geltung kommen.

Als Lichtquelle diente vor dem einen Rohre R_1 eine Triplex-, vor dem anderen R_2 eine Auerlampe. Das dem Rohre R_2 entnommene Licht diente zum Vergleich, die Stellung des Rohres wurde also nach Einstellung auf eine bestimmte Wellenlänge nicht mehr geändert, während mit R_1 die verschiedenen Farben des Spectrums vorgeführt wurden. In diesem wiederum wurde die Helligkeit nicht variirt, sondern ausschliesslich in dem das Vergleichslicht liefernden Rohre. Wegen der Unzuverlässigkeit, die der Benutzung von variablen Spaltbreiten für quantitative Vergleichen anhaftet, wurde die Abstufung des Lichtes allein durch Nicoldrehung vorgenommen. Da nun die Verengung der Pupille schneller und energischer erfolgt als die Erweiterung und demgemäfs die erstere leichter zu beobachten ist, so wurde der Nicol entweder so weit aufgedreht, dafs das Vergleichslicht eine Verengung bewirkte, oder so weit zuge dreht, dafs wiederum durch das Licht des anderen Rohres eine Pupillenverengung eintrat. Während ein Gehülfe dem Nicol eine bestimmte, dem Beobachter nicht bekannte Stellung gab, war es also Aufgabe des Letzteren zu sagen, ob das Vergleichslicht Pupillenverengung oder Erweiterung (nicht direct beobachtet, sondern aus der mit dem Auftauchen des anderen Lichtes auftretenden Verengung erschlossen) hervorrufe. Durch zahlreiche Wiederholung der Einstellungen liefs sich dann mit vollkommen ausreichender Sicherheit ersehen, bei welcher Winkelstellung des Nicols die Lichter motorisch äquivalent waren. Das Maafs der Aequivalenz gab das Quadrat des Sinus der Winkelstellung des Nicols an. Wurde also z. B. bei 31° Erweiterung, bei 35° Verengung der Pupille angegeben und waren bei den dazwischen liegenden Graden die Angaben unsicher oder widersprechend, so galten die Lichter bei 33° als motorisch äquivalent. Die Unsicherheit nach oben und unten betrug im Durchschnitt $6\frac{1}{2}$ bis $7\frac{1}{2}$ Proc. Die Wiederholung einer solchen Reihe in längeren Zwischenräumen zeigte durch die Uebereinstimmung der Resultate, dafs in dieser Weise gerade dadurch, dafs mit Verzichtleistung auf die Wahrnehmung feinerer Vorgänge nur einer wirklich energisch eintretenden Verengung der Pupille Beachtung geschenkt wurde, ein zuverlässiges Ergebnifs erzielt wurde.

Was nun den Vergleich der pupillomotorischen¹ Wirkung der Farben mit ihrer Helligkeit betrifft, so erschien es am zweckmässigsten, bei den individuellen Schwankungen, welchen heterochrome Helligkeitsbestimmungen unterliegen, und ihrer Abhängigkeit von den speciellen Versuchsbedingungen, auch bei derselben experimentellen Anordnung die Helligkeitsbestimmung vorzu-

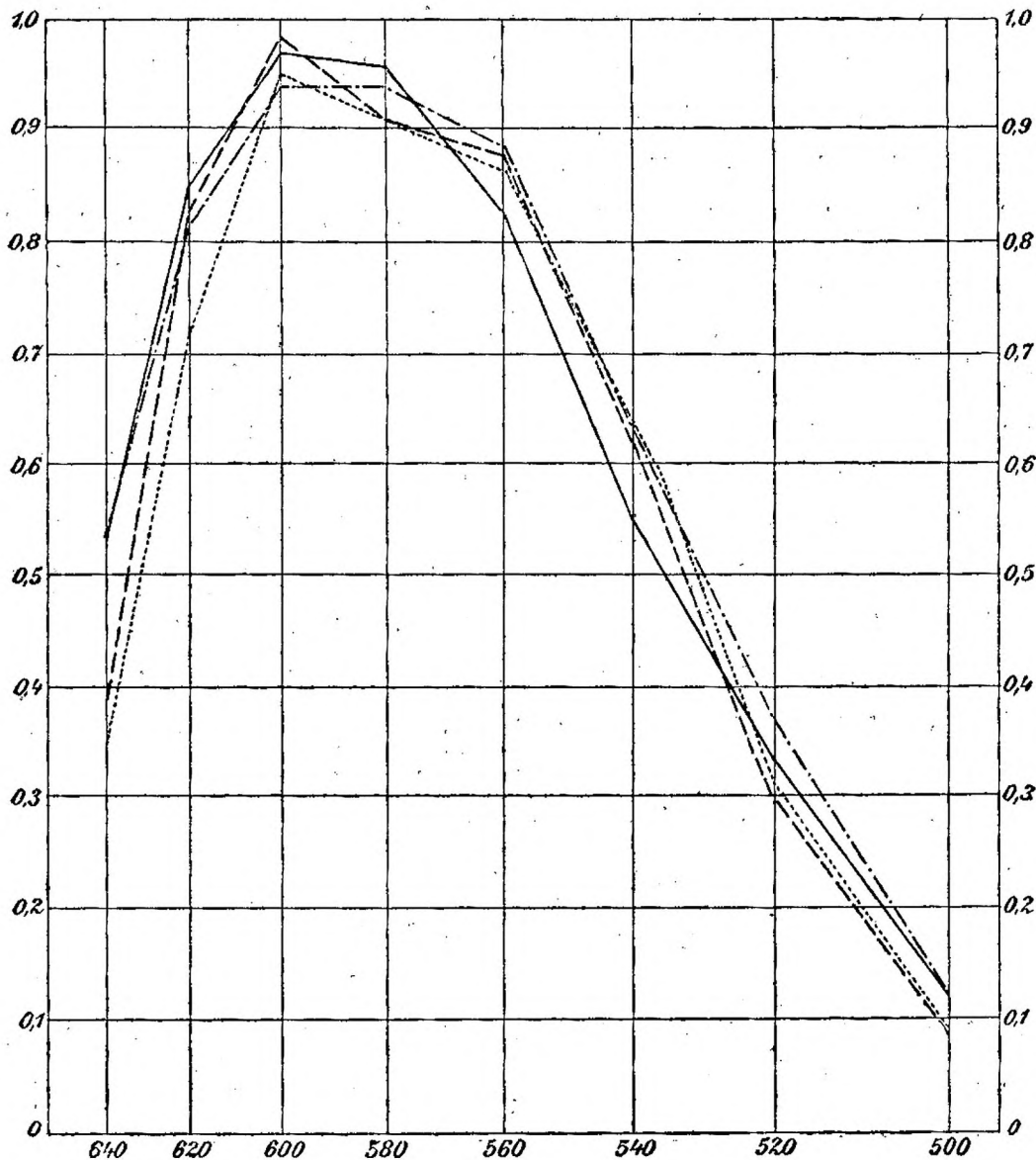


Fig. 2.

Pupillomotorische Werthe	———	} bei Benutzung homogenen Lichtes v. 600 $\mu\mu$ als Vergleichsl.	} Hell-adaptation.
Helligkeitswerthe	- . - . - .		
Pupillomotorische Werthe	- - -	} bei Benutzung homogenen Lichtes v. 480 $\mu\mu$ als Vergleichsl.	
Helligkeitswerthe		

¹ Der Ausdruck Pupillenbewegung ist gewiss, wie P. SCHULTZ (Ueber die Wirkungsweise der Mydriaca und Miotica, Du Bois' *Archiv*, Physiolog. Abth. 1898, 47) zutreffend bemerkt, eine laienhafte Ausdrucksweise, die sich aber einmal in den Sprachgebrauch eingeschlichen hat und von der ich das entsprechende Adjectiv der Kürze wegen beibehalte.

nehmen. Um andererseits eine subjective Beeinflussung nach Möglichkeit auszuschliessen, wurden die Helligkeitsbestimmungen in zeitlich getrennten Abschnitten von der Untersuchung der pupillomotorischen Werthe ausgeführt. Der Beobachter hatte dann die bereits geschilderten Zerstreuungskreise als zu hell, zu dunkel resp. gleich zu bezeichnen, im Uebrigen blieb die Methode dieselbe. Ich verkenne nicht, daß die hierdurch gegebene successive Helligkeitsvergleichung die Genauigkeit der Bestimmungen beeinträchtigte; ein unterstützendes Moment bildete die simultane Vergleichung der Helligkeit der einzelnen Farbe mit der der dunklen Umgebung. Eine wesentliche Differenz zwischen der Sicherheit der Bestimmungen der Helligkeit und der der pupillomotorischen Werthe war nicht vorhanden; die ersteren waren nicht etwa, wie ich erwartet hatte, durch grössere Genauigkeit ausgezeichnet.

Pupillarreaction sowie Helligkeitsempfindung wurden sowohl mit hell- als mit dunkeladaptirtem Auge bei derselben Lichtstärke geprüft; absichtlich wurden, um eine zu grofse Herabsetzung der Unterschiedsempfindlichkeit zu vermeiden, die Extreme des wirklich erreichbaren Adaptationszustandes nicht herbeigeführt. Bei der Helladaptation blickte das beobachtende Auge vor jeder Einstellung 2 Minuten auf die weifse Wand eines elektrisch erleuchteten Zimmers, das andere Auge war nicht vollständig lichtdicht verschlossen, aber vor störendem Lichteinfall durch eine Klappe geschützt. Bei der Dunkeladaptation wurde im verdunkelten Zimmer der Kopf des Beobachters mit einem schwarzen Tuche bedeckt, die nothwendigen Ablesungen nahm ein Gehülfe bei dem Lichte einer elektrischen Milchglas-Mignonlampe vor, das für den Beobachter unsichtbar blieb. Das Auge wurde vor jeder Einstellung einer drei Minuten dauernden Adaptation unterworfen. Wie schon früher hervorgehoben, mußten durch einen unvermeidlichen Fehler der Versuchsanordnung die Wirkungen der Dunkeladaptation reiner als die der Helladaptation zum Ausdruck kommen, ohne daß jedoch hierdurch die principiellen Unterschiede verwischt wurden.

Ueber die Wellenlänge $500 \mu\mu$ wurde nicht hinausgegangen, weil sonst zur Erzielung einer wahrnehmbaren Pupillenverengung Spaltbreiten erforderlich gewesen wären, welche die Bestimmung der Wellenlänge illusorisch gemacht hätten.

In Figur 2 sind nun die pupillomotorischen Werthe und diejenigen der Helligkeit in ihrer Vertheilung im Spectrum bei helladaptirtem Auge dargestellt, indem das Spectrum mit seinen Wellenlängen als Abscissen, die Werthe als Ordinaten aufgetragen wurden. Außer dieser graphischen Darstellung sind die Resultate zahlenmäßig in Tabelle I und II wiedergegeben.

Tabelle I.
Pupillomotorische Werthe.

Wellenlänge $\mu\mu$	Helladaptation		Dunkel- adaptation
	a) Vergleichslicht 600 $\mu\mu$	b) Vergleichslicht 480 $\mu\mu$	Vergleichslicht 480 $\mu\mu$
640	0,5271	0,3920	0,2666
620	0,8523	0,8376	0,5670
600	0,9720	0,9822	0,7260
580	0,9536	0,9090	0,8065
560	0,8303	0,8739	0,8865
540	0,5518	0,6141	0,9200
520	0,3333	0,2936	0,5750
500	0,1181	0,0914	0,1612

Tabelle II.
Helligkeitswerthe.

Wellenlänge $\mu\mu$	Helladaptation		Dunkel- adaptation
	a) Vergleichslicht 600 $\mu\mu$	b) Vergleichslicht 480 $\mu\mu$	Vergleichslicht 480 $\mu\mu$
640	0,5353	0,3518	0,2529
620	0,8204	0,7230	0,5515
600	0,9431	0,9576	0,7260
580	0,9431	0,9090	0,8535
560	0,8811	0,8613	0,9540
540	0,6259	0,6354	0,9540
520	0,3700	0,3189	0,5750
500	0,1168	0,0944	0,1612

Man sieht, daß die verschiedene Wahl des Vergleichslichts keine wesentliche Aenderung in der Vertheilung der Werthe

herbeiführte und die pupillomotorischen Werthe mit denjenigen der Helligkeitsempfindung so gut übereinstimmen als es überhaupt bei den der Methode anhaftenden Ungenauigkeiten zu erwarten ist. Das Maximum liegt im Gelben, drei Reihen haben dasselbe bei $600\ \mu\mu$, in der einen Reihe kommt dem Lichte von der Wellenlänge von ca. $590\ \mu\mu$ die stärkste pupillenverengende Wirkung zu. Das Maximum würde wahrscheinlich durch noch strengere Helladaptation noch weiter nach dem warmen Ende des Spectrums verschoben werden können. Die Verschiebung nach dem kalten Ende durch Dunkeladaptation zeigen Figur 3 und die an zweiter und dritter Stelle stehenden Verticalcolumnen von Tabelle I und II. In den vier Reihen, bei welchen alles Licht von derselben Wellenlänge zum Vergleiche diente, tritt der principielle Unterschied der bei Hell- und Dunkeladaptation gewonnenen Werthe deutlich hervor, während wiederum die Werthe für Helligkeitsempfindung und Pupillenverengung übereinstimmenden Verlauf zeigen. Das Maximum ist bei der Dunkeladaptation in der Weise nach dem kurzwelligen Ende des Spectrums verschoben, daß es im Grünen liegt und zwar für die Helligkeitsempfindung bei $550\ \mu\mu$, für die Pupillenverengung bei $540\ \mu\mu$. Der nahe liegende Einwand, daß bei der Dunkeladaptation durch Erweiterung der Pupille die Zerstreuungskreise vergrößert und andere Netzhauttheile gereizt wurden, liefs sich leicht entkräften, indem durch Vorsetzen schwächerer Convexgläser die Zerstreuungskreise auf das bei der Helladaptation vorhandene Maafs zurückgeführt wurden. Ihre durchschnittliche Gröfse betrug übrigens $4\frac{1}{2}^\circ - 5^\circ$, d. h. der Durchmesser ihrer Netzhautbildgröfse war $1,08 - 1,2\ \text{mm}$.

Als Ergebnifs dieser Versuche läfst sich ganz allgemein der Satz aufstellen, daß Lichter, die bei Reizung derselben Netzhautstelle gleich hell erscheinen, auch in Bezug auf ihre pupillomotorische Wirkung äquivalent sind; mit der Steigerung oder Abnahme der Helligkeitwerthe der Farben geht eine gleichsinnige Aenderung ihrer pupillomotorischen Wirksamkeit einher.

Diese Thatsache erscheint in dieser Formulirung vielleicht selbstverständlicher als sie in Wirklichkeit ist; denn es handelte sich im Vorhergehenden nicht um eine Zunahme der pupillomotorischen Valenz des Lichtes bei Zunahme seiner Intensität, sondern bei gleichbleibender Intensität der Farben, bei der

selben Energie der Lichtstrahlen war die pupillomotorische Valenz mit dem Zustande des Sehorgans variabel. Wie die Helligkeitsempfindung bei derselben Qualität des einfallenden Lichtes nicht bloß eine Function ist der lebendigen Energie, mit welcher die Strahlen die Netzhaut erreichen, sondern auch eine Function des Stimmungszustandes, in welchem die-

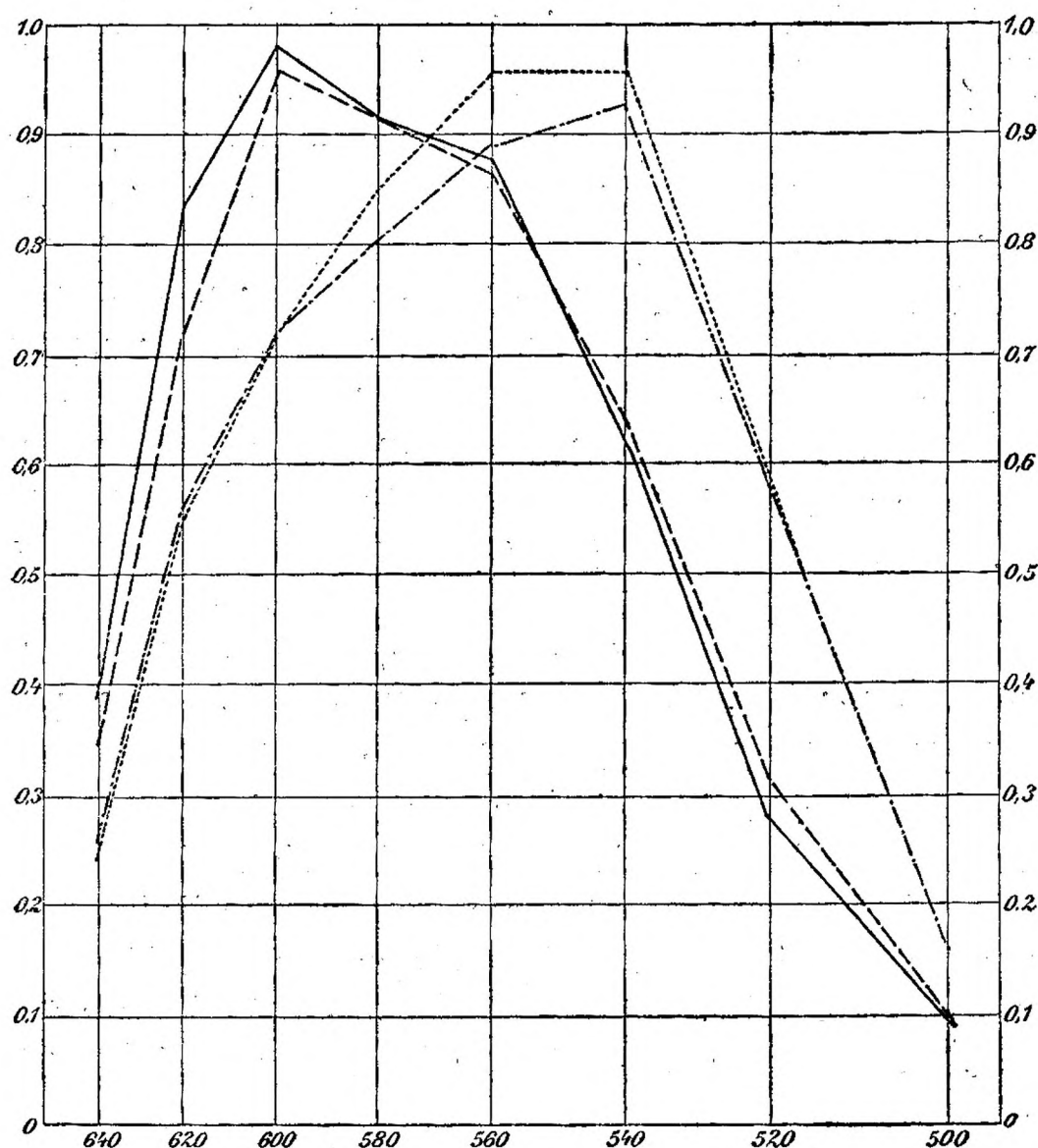


Fig. 3.

Pupillomotorische Werthe ———	} bei Helladaptation	} homogenes Licht von 480 $\mu\mu$ diente als Vergleichslicht.
Helligkeitswerthe - - - - -		
Pupillomotorische Werthe — · — ·	} bei Dunkeladaptation	
Helligkeitswerthe		

selben vom Sehorgane aufgenommen werden, so zeigen auch die Wirkungen der Farben auf die Bewegungen der Iris dieselbe zwiefache Abhängigkeit. Dafs bei gleichzeitiger Aenderung der Intensität und des Adaptationszustandes auch die pupillo-

motorischen Valenzen der Farben eine Aenderung erleiden, geht bereits aus SACHS' mehr die Extreme berücksichtigenden Beobachtungen an Pigmentpapieren hervor. Meine Beobachtungen zeigen in vollständiger Reinheit, daß es bei geeigneter Intensität des Lichtes gelingt, auch ausschliesslich durch Aenderung des Adaptationszustandes die pupillomotorischen und Helligkeitsvalenzen in übereinstimmendem Sinne zu ändern. Die hierbei stattfindende Verschiebung ist ein Ausdruck dessen, was man jetzt allgemein als PURKINJE'sches Phänomen bezeichnet. Einerseits wird die HERING'sche¹ Auffassung bestätigt, daß dasselbe bei passend gewählter herabgeminderter Beleuchtung schon durch geeignete Adaptation des Auges allein erzeugt werden kann; andererseits ist der experimentelle Nachweis erbracht, daß, wie HELMHOLTZ bereits in der zweiten Auflage der „Physiologischen Optik“ hypothetisch angedeutet hatte (S. 444), beim PURKINJE'schen Phänomen die Helligkeitsempfindung mit einer entsprechenden Regulation der Pupillenweite einhergeht.

Es wäre der Vollständigkeit halber wünschenswerth gewesen, auch Aenderungen der Lichtstärke vorzunehmen. In beschränktem Maasse geschah dieses zwar schon durch die Wahl zweier verschiedener Vergleichslichter, ohne daß jedoch hierdurch, wie aus Fig. 2 hervorgeht, die Werthe merklich beeinflusst wurden. Die an sich recht mäßige Lichtstärke der farbigen Zerstreuungskreise, die durch die grofse Entfernung des Auges vom Ocularspalte bedingt war, liefs sich, ohne die einmal vorhandene experimentelle Anordnung aufzugeben, nicht erheblich steigern. Eine beträchtliche Verminderung der Lichtstärke, die leicht zu erreichen war, hatte wiederum zur Folge, daß die Reizwerthe der Lichter für die entoptische Wahrnehmung der Pupillenverengung zu gering wurden. So ergänzte ich diese Lücke durch Experimente mehr qualitativer als messender Art mit Absorptionsfarben.

An einem schwarzen Pappcylinder wurde die eine Oeffnung mit schwarzem Papier verschlossen und in die Mitte desselben ein feines Loch gebohrt. Das letztere wurde durch eine AUER'sche Glühlichtlampe erleuchtet, die an einem röhrenförmigen Ansatz eine Linse trägt, um den Strahlen einen annähernd parallelen Verlauf

¹ E. HERING. Ueber das PURKINJE'sche Phänomen. PFLÜGER's *Archiv f. d. ges. Physiologie* 60, 524. 1895.

zu geben. Indem dicht vor der Oeffnung, zwischen ihr und Auerlampe, ein zur Aufnahme farbiger Gläser geeigneter Schieber an Schnurlaufe leicht in seitlicher Richtung bewegt werden konnte, einem war es möglich, der Oeffnung schnell hinter einander eine verschiedenfarbige Beleuchtung zu ertheilen. Durch Verschieben von Rauchgläsern vor die Lampe oder durch weiteres Abrücken derselben konnte die Lichtstärke beliebig abgestuft werden. Die Aenderungen der Pupillenweite wurden in derselben Weise wie am Spectralapparate entoptisch beobachtet, indem durch Vorsetzen eines starken Convexglases vor das Auge die punktförmige Oeffnung als ein in seiner Größe von der Pupillenweite abhängiger Zerstreuungskreis erschien. So war es leicht möglich, sich nicht nur von der principiellen Richtigkeit der am Spectralapparate gewonnenen Resultate durch einen einfachen Versuch zu überzeugen, sondern auch die Wirkung starker Lichtreize bei Helladaptation, die schwacher bei Dunkeladaptation zu prüfen. Von mehreren Versuchen beschränke ich mich, einen als typischen wiederzugeben: Im Schieber befindet sich ein rothes und ein grünes Glas.

Hohe Lichtstärke und Helladaptation:

Prof. A. K. Keine Schwankung der Pupillenweite oder geringe Pupillenverengung bei Verschieben des rothen Glases.

Dr. G. A. Pupillenverengung bei Roth.

Herabgesetzte Beleuchtung und Dunkeladaptation:

Prof. A. K.) Prompte Pupillenverengung bei Verschieben
Dr. G. A.) des grünen Glases.

Auch hier also zeigt sich wieder die Beeinflussung der Pupillarreaction im Sinne des PURKINJE'schen Phänomens.

Wenngleich die im Vorstehenden mitgetheilten Werthe nur unter sich vergleichbar sind, so liegt es doch nahe daran zu erinnern, daß die von v. KRIES gefundenen Peripheriewerthe¹ der Farben, d. h. die Helligkeitswerthe der Farben in der total farbenblinden Netzhautzone sich der von A. KÖNIG ermittelten Vertheilung der Gesammthelligkeit bei ungleicher Farbe² sehr

¹ J. VON KRIES. Ueber die Farbenblindheit der Netzhautperipherie. *Diese Zeitschr.* 15, 247. 1897.

² A. KÖNIG. Ueber den Helligkeitswerth der Spectralfarben bei verschiedener absoluter Intensität. *Beiträge zur Psychologie u. Physiologie d. Sinnesorgane. H. v. Helmholtz als Festgruß zu seinem 70. Geburtstage.* S. 309. 1891.

annähern. Andererseits liefs POLIMANTI¹ farbiges Licht intermittirend mit farblosem auf die Netzhaut einwirken und bestimmte die Intermittenzzahl, bei der eine continuirliche Empfindung entsteht. Da bei Erhellung oder Verdunkelung des farblosen Lichtes die continuirliche Empfindung einem Flimmern Platz macht, konnte P. für jede Farbe die zur Herstellung einer continuirlichen Empfindung nothwendige Helligkeit des farblosen Lichtes bestimmen. Die mit dieser „Flimmerphotometrie“ gefundenen Werthe stimmten wiederum annähernd mit denjenigen der Peripheriehelligkeit überein. Nun zeigte sich in meinen Versuchen eine zahlenmäßige Uebereinstimmung der Helligkeitswerthe der Farben und ihrer pupillomotorischen Valenzen; man wird demgemäfs nicht umhin können, die Uebereinstimmung in der Vertheilung der Helligkeitswerthe der Farben, ihrer pupillomotorischen Valenzen, ihrer „Peripheriehelligkeiten“ und der „Flimmerwerthe“ für mehr als zufällig zu halten und einen inneren Zusammenhang zu vermuthen, für welchen allerdings der strenge Beweis noch fehlt.

Was nun die Erklärung der zweifellosen Uebereinstimmung der Helligkeits- und pupillomotorischen Werthe betrifft, so schliesst die Anordnung der Versuche eine Erklärung nach Analogie des HAAB'schen Hirnrindenreflexes² aus. Eine so weitgehende Verallgemeinerung würde schliesslich den Lichtreflex der Pupille unter die Hirnrindenreflexe einreihen, eine Auffassung, die mit so vielen anatomisch-physiologischen Thatsachen im Widerspruche steht, dass sie nicht ernsthaft discutirt zu werden braucht. Die Identität beider Functionen wird ohne Schwierigkeit erklärt, wenn man annimmt, dass derselbe Reiz von denselben percipirenden Elementen aufgenommen, aber zu den zwei verschiedenen Centren für die Irisbewegung und die optische Wahrnehmung geleitet wird. Dass die Empfindung der regulirenden Innervation der Pupille wiederum die Helligkeitsempfindung mitbestimmen kann, eine Möglichkeit, die HELMHOLTZ bei der Erörterung des Begriffes der Helligkeit im Auge gehabt, ist mit

¹ O. POLIMANTI. Ueber die sogenannte Flimmerphotometrie. *Diese Zeitschr.* 19, 263.

² HAAB. Der Hirnrindenreflex der Pupille. *Festschr. z. Feier d. 50jähr. Doctorjubiläums der Professoren Nägeli und Kölliker*, 1891. — Ferner: J. PILTZ. Ueber Aufmerksamkeitsreflexe der Pupillen. *Neurolog. Centralbl.* (1), 14. 1899.

dieser Erklärung wohl vereinbar. Die lichtpercipirenden Elemente der Netzhaut sind die Stäbchen und Zapfen. Solange der geistreichen Hypothese SCHIRMER's¹, daß die Pupillarfaser der Sehnerven bereits in den inneren Netzhautschichten, den sogenannten amakrinen Zellen endigen; noch mannigfache, besonders anatomische Schwierigkeiten² entgegenstehen — RAMON Y CAJAL hält im Gegentheil die amakrinen Zellen für die Endstationen centrifugaler Sehnervenfasern — wird es erlaubt sein, zunächst noch an der alten Anschauung festzuhalten, daß die Stäbchen und Zapfen auch die peripherischen Endorgane im Reflexbogen der Pupillarreaction darstellen.

Durch farbentheoretische Untersuchungen sind A. KÖNIG und v. KRIES, wie ich an dieser Stelle wohl nicht weiter auszuführen brauche, neuerdings dazu geführt worden, die optischen Functionen der Stäbchen und Zapfen zu sondern, die ersteren als einen Hell und Dunkel unterscheidenden, noch bei geringen Lichtstärken functionirenden Apparat aufzufassen, den letzteren Farbentüchtigkeit und eine erst bei etwas größerer Lichtstärke in Kraft tretende Function zuzuschreiben. Ueberträgt man diese Vorstellung auf die Auslösung der Pupillarreaction, so haben an derselben je nach Adaptationszustand des Auges und Intensität des Lichtes mehr die Stäbchen oder die Zapfen Theil.³ Es ergibt sich dann, daß, da nach dieser Theorie das PURKINJE'sche Phänomen an der ausschließlich Zapfen führenden Fovea nicht zu

¹ O. SCHIRMER. Untersuchungen zur Pathologie der Pupillenweite und der centripetalen Pupillarfaser. v. GRAEFE's *Arch. f. Ophthalm.* 44, 2.

² Vergl. die Ausführungen von KALLIUS in „Ergebnisse der Anatomie u. Entwicklungsgeschichte“, herausgeg. v. MERKEL u. BONNET, 298. 1897.

³ Die Annahme GAD's (J. GAD. Der Energieumsatz in der Retina. Du Bois' *Arch. f. Physiolog.* 1894, 501.), daß „die Energie des im Sehroth und Sehgelb absorbirten Lichtes Reflexvorgängen zu Gute kommt, wie namentlich der Regulation der Pupillenweite“, halte ich durch meine Versuche für widerlegt. Nur in einem ganz bestimmten Falle dürfte sie sich als zutreffend erweisen, nämlich bei einer so herabgesetzten Beleuchtung, daß totale Farbenblindheit eintritt. Denn dann ist zu erwarten, daß auch die pupillomotorischen Reizwerthe, welche die verschiedenen monochromatischen Lichter des Spectrums besitzen, ebenso wie die Helligkeitswerthe den Absorptionscoefficienten des Lichtes für den Sehpurpur proportional sind. Die von mir benutzte Methode gestattete Aenderungen der Pupillenweite bei so geringer Beleuchtungsstärke, daß farbige Lichter farblos erscheinen, nicht mehr mit Sicherheit zu beobachten, dagegen lassen die Angaben von SACHS thatsächlich auf ein solches Verhalten schließen.

Stande kommen kann, auch die Gröfse der pupillomotorischen Valenzen kurz- und langwelligen Lichtes bei ausschließlicher Reizung der Fovea keine verschiedene Function der Intensität und des Adaptationszustandes sein kann. Die Schwierigkeit, die schon in der Entscheidung der Frage, ob das PURKINJE'sche Phänomen bei ausschließlicher Fixation mit der Fovea wahrnehmbar ist, selbst für sehr geübte Beobachter liegt, wird es begreiflich erscheinen lassen, daß meine Versuche diese Frage in Bezug auf die pupillomotorischen Valenzen nicht entscheiden konnten. Die Gröfse der gereizten Netzhautstelle hatte, wie schon erwähnt, durchschnittlich einen ungefähren Durchmesser von 1,08 mm bis 1,2 mm, eine Breite, wo die Function der Zapfen sicher nicht mehr überwiegt. Ein neuer Beweis für die Richtigkeit der KÖNIG - v. KRIES'schen Theorie wird also durch meine Beobachtungen nicht geliefert, es läßt sich nur soviel sagen, daß sie sich derselben ungezwungen einfügen.

Wenn ich alle theoretischen Erwägungen bei Seite lasse und zum Schlusse das thatsächliche Ergebnifs meiner Untersuchung noch einmal zusammenfasse, so ist bewiesen worden, daß die Gröfse des Empfindungswerthes, welcher dem Gesamteindruck der Helligkeit einer Farbe zukommt, der Gröfse des auf das pupillenverengende Centrum ausgeübten Reizes proportional ist. Die bei Aenderung der Lichtintensität und des Adaptationszustandes erfolgende ungleiche Aenderung der Reizwerthe verschiedener Lichter, welche bei dem sogenannten PURKINJE'schen Phänomene in die Erscheinung tritt, kommt auch in der regulirenden Innervation der Pupille zum Ausdruck.

(Eingegangen am 27. September 1899.)
