Ueber den Lichtsinn der Netzhautperipherie.

Von

Dr. Th. Treitel,

Privatdocent in Königsberg in Pr.

Mit einem Holzschnitt.

Der Frage nach dem Verhalten der Lichtempfindlichkeit auf den peripheren Parthien der retina gegenüber den centralen kommt eine fundamentale Bedeutung in der Lehre vom peripheren Sehen zu. Es erscheint nicht möglich, die complicirten Functionen der Empfindung von Farben und der Wahrnehmung räumlicher Verhältnisse auf den seitlichen Abschnitten der Netzhaut verstehen zu lernen, so lange über ihre einfachste Leistung, die Empfindung von Helligkeitsdifferenzen, nicht vollkommene Klarheit besteht. Dieses Ziel ist bisher nicht erreicht. Trotz zahlreicher Untersuchungen in den letzten drei Decennien hat man sich über das Verhalten des peripheren Lichtsinns nicht einigen können. Während ein Theil der Untersucher zu der Anschauung gelangt ist, dass die Lichtempfindlichkeit ausserhalb der Netzhautmitte ebenso fein oder gar noch feiner als an dieser selbst sei, glaubte ein anderer Theil sich davon überzeugt zu haben, dass der centrale Lichtsinn dem peripheren wesentlich überlegen sei.

Der erste¹⁾, welcher unserer Frage seine Aufmerksamkeit zugewandt hat, scheint, wie ich Aubert entnehme, Mile (1837) gewesen zu sein. Er giebt an, dass die Gegenstände, je weiter sie von der Augenaxe im Gesichtsfeld entfernt sind, nicht nur undeutlicher, sondern auch dunkler gesehen werden. Diesen Satz glaubt Aubert²⁾ auf Grund seiner Versuche nicht bestätigen zu können; er hält vielmehr die Annahme für gerechtfertigt, dass der Lichtsinn in der ganzen Ausbreitung der Netzhaut keine irgend erheblichen Verschiedenheiten darbietet.

Aubert hat auf dreifache Art experimentirt. Er hat erstens im Dunkelzimmer einen Platindraht, der bei directer Fixation eben glühend erschien, seitwärts bei 30° Ablenkung beobachtet und dabei keinen Unterschied in der Helligkeit wahrgenommen. Ferner hat er bei Tageslicht die Helligkeit eines weissen Papierquadrates von 1 Zoll Seite auf schwarzem Grund in 1 Meter Distanz bei centralem und 25° seitwärts gerichtetem Blick mit einander verglichen und endlich denselben Versuch im Dunkelzimmer angestellt, nur mit dem Unterschiede, dass an Stelle des weissen Papierquadrates ein Ausschnitt von 1 Quadratzoll in schwarzer Pappe mit einer dahinter befindlichen Milchglasglocke über einer Photogenflamme angewendet wurde.

Bei der zweiten und dritten Versuchsreihe erschien das Quadrat direct heller als indirect.

Bei der Besprechung dieses Versuchsergebnisses weist Aubert darauf hin, dass die Methode nicht frei von Fehlern sei, da die Kontouren des indirect beobachteten Quadrates verwaschen und seine Farbe gleichzeitig bläulich-grau erscheinen, und da Ermüdungserscheinungen auftreten. Er macht

¹⁾ Wenn ich einen Ueberblick der einschlägigen Literatur zu entwerfen versuche, trotzdem Schadow dieselbe vor nicht langer Zeit in seiner Arbeit „Die Lichtempfindlichkeit der peripheren Netzhauttheile im Verhältnisse zu deren Raum- und Farbensinn“ (Pflüger's Arch. XIX. pag. 439—461, 1879) zusammengestellt hat, so sehe ich mich, abgesehen davon, dass die Angaben von Schadow nicht ganz vollständig sind, dazu veranlasst, weil für das Verständniss und die selbständige Beurtheilung der Fragen, die ich in dieser kleinen Abhandlung zu besprechen mir vorgesetzt habe, eine Kenntniss der betreffenden Untersuchungsmethoden nothwendig erscheint.

²⁾ Physiologie der Netzhaut, Breslau 1865, pag. 89—95.

ferner auf folgendes Moment aufmerksam. Da gewisse Zonen unserer Netzhaut von Anfang an immer nur halb so viel Licht bekommen haben, als der gelbe Fleck, so werden sie — die Reciprocität von Reiz und Empfindlichkeit vorausgesetzt — von der halben Lichtintensität ebenso stark afficirt werden, wie das Centrum von der ganzen, und lichtschwächere Reize werden auf der Peripherie die gleiche Empfindung auslösen, wie stärkere im Centrum.

In den mitgetheilten Versuchen vermittelten aber die peripheren Netzhautparthien trotz dieser Bevorzugung eine geringere Helligkeitsempfindung, als die centralen, so dass es sehr fraglich erscheint, ob man ihnen in Uebereinstimmung mit Aubert auf Grund seiner Beobachtungen einen gleich feinen Lichtsinn wie dem gelben Fleck zuerkennen darf.

Durch diesen Einwand wird das Verdienst von Aubert, die ersten eingehenden Versuche über das Verhalten des peripheren Lichtsinns angestellt und publicirt zu haben, selbstverständlich nicht im Geringsten geschmälert; ebenso wenig durch den Hinweis darauf, dass durch einen Vergleich der Helligkeits-Empfindung desselben direct und indirect beobachteten Objectes unser Problem nicht sicher gelöst werden kann. Die verschiedenen von Aubert angeführten, eben genannten Momente lassen diese Methode in der That als nicht exact genug erscheinen.

Um genaue Resultate zu erhalten, musste man dazu übergehen, den geringsten eben noch wahrnehmbaren Helligkeitsunterschied auf der Peripherie der retina in entsprechender Weise festzustellen, wie es bei der Untersuchung des centralen Lichtsinns geschehen war. Dieser Weg ist auch von fast allen späteren Untersuchern eingeschlagen worden.

Nach Aubert hat sich, soviel ich sehe, zuerst Rupp mit dem Verhalten des peripheren Lichtsinns beschäftigt und zwar bei Gelegenheit von Untersuchungen „über die Dauer der Nachempfindung auf den seitlichen Theilen der Netzhaut“¹⁾. Er hat in der Art experimentirt, dass er mit einer Kerze von einem straff gespannten Faden einen Schatten auf einem senkrecht stehenden Blatt durchscheinenden Papiers entwarf und dieses mit einer zweiten, gleich starken Kerze, die auf der anderen Seite des Papiers aufgestellt war, beleuchtete. Hierbei zeigte sich, dass dieses zweite Licht um so weiter entfernt

¹⁾ Königsberger Inaugural-Dissertation 1869.

werden, d. h. der Schatten um so intensiver sein musste, je mehr der Blick nach der Seite gerichtet war. Ein entsprechendes Resultat erhielt Rupp mit Untersuchungen mit der Masson'schen Scheibe. Er konnte auf derselben bei Tagesbeleuchtung einen sehr schwach grauen Ring, den er bei centraler Fixation eben noch erkannte, bei indirecter nicht wahrnehmen. Gleichzeitig fand er die Angabe von Mile in Bezug auf das dunklere Aussehen seitwärts betrachteter Objecte bestätigt. Wenn er nämlich eine rotirende Scheibe mit vier gleich grauen Ringen — bei Tageslicht — betrachtete, so erschien die Helligkeit der Ringe in der visio indirecta nach der Peripherie hin abzunehmen, so dass der äusserste graue Ring ganz verschwand.

Sehr exact sind die Beobachtungen mit der Masson'schen Scheibe, welche Sigmund Exner im folgenden Jahre (1870) in seinen „Bemerkungen über intermittirende Netzhautreizung“¹⁾ mittheilte. Exner verschob die durch ein Uhrwerk bewegte Scheibe auf einer Kreislinie von 75 cm Radius, in deren Mittelpunkt sich sein Auge befand, und beobachtete, dass der aus Schwarz und Weiss gemischte graue kreisförmige Rand um so stärker gegen eine centrale weisse Scheibe contrastiren musste, je peripherer die ganze Scheibe betrachtet wurde.

Wenn Exner das, wie mir scheint, unzweideutige Resultat seiner und gleichzeitig der Rupp'schen Experimente als durchaus unsicher hinstellt, wenn er sich trotz seiner klaren Beobachtungen schliesslich dahin äussert, dass wir in der That nicht wissen, ob die peripheren Netzhautstellen für Lichtunterschiede empfindlicher als die centralen sind oder nicht, und zwar aus dem Grunde, weil er die Lage von Schwarz und Weiss zu einander auf der ruhenden Scheibe unter einem Winkel von 80° nicht richtig erkennen konnte, so scheint mir die hiermit festgestellte mangelhafte Localisationsfähigkeit der äussersten Netzhautperipherie den Werth seiner Versuchsergebnisse nicht zu beeinträchtigen, und wir sind meiner Ansicht nach berechtigt, trotz der Zweifel Exner's als das Resultat seiner Experimente eine Abnahme des peripheren Lichtsinns zu constatiren. Dazu kommt erstens, dass nach den Untersuchungen von Aubert²⁾ u. A. die Localisationsfähigkeit

¹⁾ Pflüger's Arch. III. pag. 214—240.

²⁾ l. c. pag. 262.

der peripheren Netzhautzonen keineswegs eine so unsichere ist, und zweitens, dass die von Exner festgestellten Differenzen der Zahlenwerthe sehr beträchtlich sind. Gegenüber $5,5^{\circ}$ Schwarz bei centraler Fixation waren 30° , 65° und 94° Schwarz bei 20° , 30° und 40° Ablenkungswinkel erforderlich, um einen Helligkeitsunterschied hervortreten zu lassen. Dabei mögen die absoluten Zahlenwerthe und ihr gegenseitiges Verhältniss durch die Art der Beleuchtung beeinflusst worden sein. Die Beobachtungen wurden nämlich bei Beleuchtung mit einer Gasflamme ausgeführt und, da diese über dem Kopfe des Beobachters angebracht war, so mag die Masson'sche Scheibe bei centraler Einstellung intensiver als bei seitlicher beleuchtet gewesen sein. Dieses Moment ist aber nebensächlich und kann auf das Ergebniss der Untersuchungen einen entscheidenden Einfluss nicht ausgeübt haben.

An dieser Stelle mag darauf hingewiesen werden, dass die Exner'schen Untersuchungen, bei denen eine Gasflamme aus 75 cm Entfernung eine weisse Papierscheibe beleuchtete, bei hellem Licht ausgeführt worden sind. Das Entsprechende gilt von dem weissen Papier in Rupp's Versuch mit dem Schatten eines Fadens; hier betrug die maximalste Distanz der Kerze von dem Papier bei ganz peripherer Beobachtung sechs Zoll. In Bezug auf die absolute Helligkeit kann trotz der Ueberlegenheit des Tageslichtes der Versuch von Rupp und von Exner mit dem zweiten Experiment Rupp's, das bei Tageslicht angestellt wurde, verglichen werden.

Auf dieses Moment aufmerksam zu machen, sah ich mich deswegen veranlasst, weil ich aus Exner's Arbeit den Eindruck erhalten habe, dass er durch andere Beobachtungen über den peripheren Lichtsinn bei herabgesetzter Beleuchtung, aus denen sogar eine Bevorzugung des peripheren Lichtsinns vor dem centralen hervorzugehen scheint, beeinflusst und auch hierdurch bewogen worden ist, seine doch so klaren Versuchsergebnisse nicht als richtig anzuerkennen.

Die zunächst folgenden im Jahre 1876 von Dobrowsky und Gaine publicirten Untersuchungen ¹⁾ des peripheren Lichtsinns sind nach demselben Princip, wie diejenigen von Exner mit schwarzem Sektor auf weissem Grunde angestellt. Die Masson'sche Scheibe war im Nullpunkt eines

¹⁾ Ueber die Lichtempfindlichkeit auf der Peripherie der Netzhaut, Pflüger's Arch. XII. pag. 432—441.

auf dem Untersuchungstische aufgezeichneten Bogens von 1 Fuss Radius aufgestellt, und das Fixationsobject wurde seitlich verschoben. Nur bei der Beobachtung sehr peripherer Netzhautparthien befand sich das Fixirzeichen im Centrum des Kreises.

Fünf Augen von vier Individuen wurden untersucht und zwar bei Tageslicht. Die Unterschiedsempfindlichkeit zeigte sich um so schwächer, je mehr peripher gelegene Netzhautparthien beobachtet wurden. Der Lichtsinn vermindert sich nach der Ansicht der Beobachter von 15^0 zu 15^0 ungefähr um das Doppelte. Dieselben wollen ausserdem gefunden haben, dass die Uebung den peripheren Lichtsinn im Gegensatz zur peripheren Sehschärfe fast gar nicht steigert.

Unter den fünf von Dobrowolsky und Gaine untersuchten Augen — Beobachtungen, über welche übrigens schon Gaine in seiner russisch geschriebenen Dissertation (Petersburg, 1875) berichtet hat — befand sich auch das rechte Auge von Dr. Chodin. Chodin hat diese Versuche später noch einmal an sich selbst wiederholt, sie auch auf sein linkes Auge ausgedehnt und nicht allein mit weissen Scheiben, auf denen ein schwarzer Sector verschoben wurde, sondern auch mit schwarzen Scheiben und weissem Sector angestellt ¹⁾.

Auch aus diesen Experimenten ergibt sich, dass an der fovea centralis geringere Helligkeitsunterschiede erkannt werden, als an der Peripherie, und dass sich die Unterschiedsempfindlichkeit um so feiner gestaltet, je näher der untersuchte Netzhautbezirk dem hinteren Pole des Auges gelegen ist.

Im directen Gegensatz hierzu stehen die in demselben Jahre von Charpentier ²⁾ veröffentlichten Resultate von Beobachtungen des peripheren Lichtsinns. Charpentier fand, dass der periphere Lichtsinn fast in der ganzen Ausdehnung der retina gleich gross wie im Netzhautcentrum, nur in der äussersten Peripherie viel schwächer, 2^0 — 3^0 seitwärts aber sogar grösser als central ist.

Diese Experimente sind im ganz verdunkelten Zimmer nach einer Adaptation von ca. 20 Minuten mit folgendem Photometer angestellt. In den beiden langen Seiten eines rechteckigen innen geschwärzten Kastens sind matte Glasplatten

¹⁾ Ueber die Empfindlichkeit für Farben auf der Peripherie der Netzhaut, v. Graefe's Arch. XXIII, 3 pag. 177—208.

²⁾ De la vision avec les diverses parties de la retine. Archives de Physiologie IV. 1877. pag. 894—945.

angebracht und in der Mitte zwischen diesen eine Convexlinse, so dass die beiden Glasplatten konjugirte Bildpunkte darstellen. Vor der Linse befindet sich ein Aubert'sches Diaphragma. Der Kasten kann mit der einen breiten Seite lichtdicht in einer entsprechenden Oeffnung eines Fensterladens befestigt werden. Das — eventuell verdunkelte — Tageslicht fällt dann auf die matte Glasplatte, passirt einen beliebig zu variirenden Abschnitt der Linse und gelangt schliesslich auf die zweite Glasplatte. Sie stellt in Charpentier's Versuchen ein 3 cm-Quadrat dar, und dieses ist das Untersuchungsobject. Es erscheint um so heller, je weiter das genannte Diaphragma geöffnet ist. Nach der Grösse des Diaphragma wird die Feinheit des Lichtsinns gemessen. Für die meisten Abschnitte der Netzhautperipherie genügte ebenso wie für die fovea centralis ein 1 mm-Quadrat des Diaphragma, um das Untersuchungsobject wahrzunehmen. Dieselben Resultate hat Charpentier¹⁾ später bei neuen Untersuchungen des peripheren Lichtsinns erhalten und darauf aufmerksam gemacht, dass der periphere Lichtsinn wesentlich besser als der centrale erscheint, wenn man weniger als 20 Minuten adaptirt hat. Auffallender Weise giebt er in einem früheren Aufsatz²⁾ an, dass der simultane Lichtsinn vom Centrum nach der Peripherie erheblich abnimmt, der successive Lichtsinn dagegen sich in allen Theilen des Gesichtsfeldes gleich zeigt. Charpentier verspricht, die betreffenden Untersuchungen später mitzuthemen. Es ist mir nicht bekannt, dass diese Publication erschienen ist.

Ebenso wie Charpentier beobachtete Schadow³⁾ den peripheren Lichtsinn bei möglichst vollkommenem Abschluss des Lichtes. Er stellte sich die Aufgabe, den Schwellenwerth der Lichtempfindlichkeit, d. h. diejenige Lichtquantität zu messen, welche eben genügt, um eine Empfindung hervorzurufen. Die dabei angewandte Methode ist dieselbe, welche Rühlmann⁴⁾, auf dessen Anregung Schadow die Untersuchungen unternahm, früher zur Prüfung der Empfindlichkeit für Farben angewandt hatte. Die Lichtquelle ist ebenso wie im Förster'schen Photometer eingerichtet. Sie besteht aus einer Stearin-

¹⁾ Nouveaux faits sur la sensibilité lumineuse. Arch. d'ophth. 1877 p. 13. ²⁾ Recherches sur la perception differentielle successive. Archives d'ophtalmol. 1885 p. 1. ³⁾ l. c. ⁴⁾ Ueber Schwellenwerthe der verschiedenen Spectralfarben an verschiedenen Stellen der Netzhaut. v. Graefe's Arch. XX, 1, pag. 232—254.

kerze in einem dunklen Kasten, in dessen einer Wand ein Aubert'sches Diaphragma befestigt ist. Das weisse Papier des Photometers ist durch eine matte Glasplatte ersetzt. Das Diaphragma dient zur Regulirung der Lichtquelle und bleibt während der Untersuchung unverändert. Die eben wahrnehmbare Lichtmenge wird durch einen photometrischen Apparat gemessen, der aus einer Röhre, welche an dem einen Ende zwei Nicol'sche Prismen, an dem andern ein bis auf eine Oeffnung von 3mm^2 mit schwarzem Papier beklebtes mattes Glas trägt, besteht. Das 3mm -Quadrat stellt das Untersuchungsobject dar und kann an einem Förster'schen Perimeter entlang verschoben werden.

Schadow hielt sich 20 Minuten im Dunkeln auf, bevor er die Experimente begann. Als Fixationszeichen diente ihm ein kleines Phosphorstückchen. Er fand bald, „dass, wenn bei directer Fixation des Leuchtpunktes jede periphere Lichtempfindung verschwunden war, dieselbe sofort wieder auftauchte, wenn der Leuchtpunkt ebenfalls indirect fixirt, d. h. etwas oberhalb desselben hinweg gesehen wurde.“

Bei dieser „indirecten Fixation“ stellte Schadow fest,

1) dass die zur Erregung eines 60° von der fovea centralis nach innen liegenden Punktes der Netzhaut erforderliche Intensität um das ca. 2,28fache grösser ist als diejenige, welche die fovea centralis braucht.

2) dass dagegen ein 30° nach innen gelegener Punkt durch eine geringere Lichtintensität erregt wird, als das Centrum, ungefähr in dem Verhältniss von 1:1,38.

Wurde aber direct fixirt, so zeigte sich auch bei 30° die Empfindlichkeit der retina geringer als central.

Als Butz¹⁾ nach mehreren Jahren, ebenfalls unter der Aegide Rählmann's, die Versuche von Schadow wiederholte,

¹⁾ Untersuchungen über die physiologischen Funktionen der Peripherie der Netzhaut, Inauguraldissertation Dorpat 1883. Bei dieser Gelegenheit möchte ich nicht unterlassen, darauf hinzuweisen, dass Butz eingehende Untersuchungen über die Adaptation der centralen und peripheren Netzhautpartien angestellt und dabei auch den Einfluss von Blendung des Auges durch weisses und farbiges Licht genau geprüft hat. Hierauf die Aufmerksamkeit zu lenken, sehe ich mich veranlasst, weil ich die Experimente von Butz in meiner jüngst veröffentlichten Abhandlung über das Verhalten der normalen Adaptation übersehen habe.

fand er bei „indirekter Fixation“ die Netzhautperipherie bei 30° auch empfindlicher (um das ca. 1,96fache), bei 60° aber fast ebenso empfindlich wie im Centrum, nur um ein Minimum weniger empfindlich.

Vor Butz hatte Bull¹⁾ bei seinen eingehenden Untersuchungen über Farben- und Lichtsinn auch dem Verhalten des peripheren Lichtsinns seine Aufmerksamkeit geschenkt und Beobachtungen mit verschiedenen intensiv grauen Pigmenten bei Tageslicht angestellt. Er fand eine nach der Peripherie hin fortschreitende Abnahme der Unterschiedsempfindlichkeit und stellte die Ergebnisse in übersichtlicher Weise graphisch dar, wie dies übrigens auch schon von Shadow geschehen war.

Schliesslich sind Versuche von Hilbert²⁾ zu erwähnen, bei denen es sich ergab, dass im Dunkelmzimmer 10 mm-Quadrate von Balmain'scher Leuchtfarbe an einer bestimmten Stelle der Netzhautperipherie relativ am hellsten erscheinen. Es handelt sich also hier ähnlich wie bei den ersten Untersuchungen von Aubert um den subjektiven Helligkeitseindruck.

Aus der Zusammenstellung der bisher publicirten Beobachtungen ergibt sich, dass das Verhalten des peripheren Lichtsinns bis jetzt keineswegs in sicherer Weise festgestellt ist, dass vielmehr die Ergebnisse der verschiedenen Untersucher zum Theil direct einander widersprechen.

Es schien mir desshalb gerechtfertigt, die Fragen von Neuem einer Untersuchung zu unterziehen.

Die Experimente wurden mit Hülfe einer Masson'schen Scheibe ausgeführt und mit dieser das schwächste aus Schwarz und Weiss gemischte Grau festgestellt, das an einer bestimmten Stelle der Netzhautperipherie eben noch wahrgenommen werden konnte. Dabei bediente ich mich nebenstehenden Apparates³⁾.

¹⁾ Studien über Licht- und Farbensinn, v. Graefe's Arch. XXVII, 1, pag. 54—154. ²⁾ Ortsbestimmungen derjenigen Zonen der Retina, in welcher lichtschwache Objekte am deutlichsten wahrgenommen werden. Fortschritte der Medizin, II, 1884, pag. 796. ³⁾ Herr Mechanikus Wipprecht hat den Apparat in sehr exacter Weise ausgeführt. Die beigegebene Zeichnung wird das Verständniss der Beschreibung erleichtern.

Auf einem halbkreisförmigen Brett von 40 cm Radius ist etwas seitwärts vom Halbirungspunkt der geraden Kante eine 8,5 cm breite feste gusseiserne Platte derart befestigt, dass sie auf der Unterlage wie ein Zeiger einer Uhr auf einem Zifferblatt verschoben werden kann. Um die Verschiebungen leicht ausführen zu können, ist die untere Fläche der gusseisernen

Platte mit Tuch bekleidet. Diese Platte trägt an dem fixirten Ende eine eiserne Stange mit einer Kinnstütze, an dem anderen einen Holzklotz mit dem senkrecht stehenden Rotationsapparat und zwar so, dass die Masson'sche Scheibe 12 Zoll von dem zu untersuchenden Auge entfernt steht. Die Scheibe ist von einem mit schwarzem Papier beklebten Blechschirm, in dem

ein 10 mm-Quadrat ausgeschnitten ist, vollkommen bedeckt.¹⁾ Dieses 10 mm breite, je nach der Grösse des weissen Sektors verschieden intensiv graue Quadrat stellt demnach das Untersuchungsobjekt dar. Es befindet sich in gleicher Höhe mit dem untersuchten Auge. Wie viel Grade der Rotationsapparat seitwärts eingestellt war, konnte an einem sogenannten Transporteur abgelesen werden, der unterhalb des die Kinnstütze tragenden Eisenstabes über der verschiebbaren gusseisernen Platte befestigt war. Ein neben dem Transporteur auf der letzteren befindlicher Stift zeigte den Ablenkungswinkel auf dem Transporteur an. Dieser Stift war in der Richtung des Mittelpunktes der rotirenden Scheibe befestigt; zeigte er also auf den Nullpunkt des Transporteurs, so stand das 10 mm-Quadrat einige Grade seitwärts. Diese Abweichung wurde bei der Einstellung des Untersuchungsobjectes stets in Rechnung gezogen.

Als Fixationszeichen diente ein 2 mm-Quadrat aus weissem Papier; es wurde an dem oberen Ende eines S-förmig gebogenen, gusseisernen Stabes angeklebt, dessen unteres Ende neben dem Fuss der die Kinnstütze tragenden Stange angeschraubt war. Der Stab ist so gebogen, dass das Fixationszeichen einige Linien weniger zwölf Zoll vom Auge entfernt und in gleicher Höhe mit demselben steht. Auf diese Weise hindert der Stab die Verschiebungen des Rotationsapparates in keiner Weise.

Mit dem eben beschriebenen Apparat kann selbstverständlich nur der horizontale Meridian der Netzhaut untersucht werden. Auf diesen beziehen sich übrigens auch die bisher angestellten Beobachtungen des peripheren Lichtsinns fast ohne Ausnahme.

Die Experimente wurden an der nasalen Netzhauthälfte meines linken Auges ausgeführt. Der quadratische Ausschnitt befand sich auf der rechten Seite der oben erwähnten Blechplatte, weil er sonst von dem Schatten des im Centrum der rotirenden Scheibe befindlichen Zapfens bedeckt worden wäre. Alle glänzenden Theile des Apparates wurden mit schwarzem Lack überzogen oder von mattschwarzem Papier bedeckt. Ausserdem wurde eine grosse schwarze Tafel hinter dem Tisch, auf dem der Apparat sich befand, aufgestellt und schliesslich

¹⁾ Bezüglich der eingehenderen Beschreibung dieser Vorrichtung gestatte ich mir auf meinen Aufsatz im Centralblatt für Augenheilkunde 1885, pag. 4, zu verweisen.

bei jeder einzelnen Untersuchung eine kleinere schwarze Tafel dicht an den Apparat angelegt.

Die Beobachtungen wurden in einem einfenstrigen, nach Westen gelegenen Zimmer gemacht, und das Instrument etwa zwei Fuss vom Fenster aufgestellt.

Da die Experimente das Auge sehr ermüden, so wurden sie nur selten länger als eine Stunde fortgesetzt und auch während dieser Zeit öfter unterbrochen. Dies geschah schon nach jeder einzelnen Beobachtung, während der Assistent den weissen Sector auf der schwarzen Scheibe verschob und die Breite des weissen Sectors sowie meine Angabe, ob ich einen Schimmer des grauen Quadrates erkannt hatte oder nicht, notirte. Der Assistent leitete die Untersuchungen ganz selbstständig, um jede Beeinflussung derselben durch mein Urtheil soweit als möglich auszuschliessen. Der periphere Lichtsinn wurde bei 5° , 10° , 20° , 40° , 60° und 70° untersucht, an demselben Tage aber nur an einzelnen von diesen Parthien der Netzhautperipherie, weil sonst das Auge zu sehr ermüdet worden wäre.

Nachdem ich hiermit das Wesentliche der Untersuchungsmethode angegeben habe, gehe ich jetzt zur Mittheilung der Ergebnisse der Experimente über.

Die bei Tageslicht angestellten Beobachtungen zeigen, dass die Unterschiedsempfindlichkeit der peripheren Netzhauttheile geringer als diejenige der centralen ist, und zwar in um so erheblicherem Grade, je weiter die untersuchte Parthie der retina von der fovea centralis entfernt ist.

So ergaben sich bei einer der ersteren genaueren Untersuchungen, nachdem ich mich mit dem Verfahren vertraut gemacht hatte, folgende Werthe:

Am 15. December 1887

0°	2°	5°	10°	20°	40°	60°
$0,5^{\circ}$	1°	3°	4°	12°	13°	25°

Die Zahlen der ersten Reihe dieser Tabelle geben den Grad des Ablenkungswinkels an, unter dem das Untersu-

chungsobject aufgestellt war, diejenigen der zweiten Reihe die Breite des weissen Sectors¹⁾, welche eben noch genügte, um einen hellen Schimmer des Quadrates erkennen zu lassen, der indirect auch ganz oder fast ganz richtig localisirt wurde.

Die absolute Helligkeit im Bereiche des Apparates wurde mit der centralen Sehschärfe gemessen und zwar monocular mit Hülfe der Schweigger'schen Leseproben. An dem genannten Tage konnte ich 0.3 in 33 cm erkennen.

An dem 16. December 1887, einem etwas helleren Tage, an dem ich einzelne Worte von 0.3 bis 45 cm las, wurden folgende Werthe gefunden:

0°	2°	5°	10°	20°	60°
0,5°	0,5°	3°	4°	14°	45°
0,5°	0,5°	3°	4°	16°	
0,5°	1°	2°	5,5°		

Die Zahlen dieser beiden Tabellen geben eine ungefähre Anschauung davon, in welchem Maasse der Lichtsinn bei der beschriebenen Versuchsanordnung im horizontalen Meridian der medialen Netzhauthälfte meines linken Auges von dem Centrum nach der Peripherie abnimmt. Ganz bestimmte Werthe möchte ich nicht einmal für mein eigenes Auge, geschweige denn im Allgemeinen aufstellen. Denn die an verschiedenen Tagen für denselben Ablenkungswinkel gefundenen Zahlen schwanken innerhalb ziemlich weiter Grenzen. Diese Erscheinung beruht nicht auf Schwankungen der absoluten Helligkeit, — diese sind zu gering — son-

¹⁾ In den Tabellen sind nur die Ergebnisse der Untersuchungen, nicht alle bei jeder Beobachtungsreihe vom Assistenten gemachten Aufzeichnungen mitgetheilt. Der Assistent registrirte, wie oben angegeben, jede einzelne Beobachtung.

dem auf der grossen Unsicherheit, welche sich bei diesen Beobachtungen bemerkbar machte, trotzdem ich durch lang-jährige Uebung eine gewisse Fertigkeit im indirecten Sehen erworben zu haben glaube.

Als Folgen dieser Unsicherheit ist es auch, wie mir scheint, zu erklären, dass ich, wie die folgende Tabelle zeigt, einmal — und zwar unter zwölf Untersuchungsreihen — bei 20° ein schwächeres Grau erkannte als bei 10°.

Am 17. December 1887, Schweigger 0.3 in 48 cm

0°	10°	20°	40°	60°	70°
0,5°	5°	4°	9°	24°	35°
			14°	16°	

und dass ein anderes Mal bei 20° und 40° derselbe Werth gefunden wurde:

Am 20. December 1887, Schweigger 0.3 in 43 cm

0°	1°	10°	20°	40°	60°	70°
0,5°	1°	5°	6°	6°	32°	38°

Trotzdem ist es nicht zweifelhaft, dass sich aus meinen Beobachtungen das über das Verhalten des peripheren Lichtsinns bei Tageslicht oben aufgestellte Gesetz ergibt. Es hat sich trotz der Unsicherheit der Beobachtungen ganz evident gezeigt, dass das eben wahrnehmbare Grau um so heller sein muss, je mehr seitwärts es betrachtet wird. Dafür sprechen auch die Durchschnittswerthe aller zwölf Beobachtungsreihen:

0°	2°	5°	10°	20°	40°	60°	70°
0,5°	0,75°	2,5°	4,5°	9,5°	10,3°	19,5°	43,5°

Um die bisher mitgetheilten Untersuchungsergebnisse zu controlliren, wurde mehrmals die Gesichtsfeldgrenze eines bestimmten Grau festgestellt. Zu diesem Zwecke wurde bei

sonst ganz unveränderten Versuchsbedingungen der in Rotation versetzte Apparat von der Peripherie nach dem Centrum verschoben, und der Punkt notirt, an dem ich zuerst einen hellen Schimmer des Quadrates zu erkennen glaubte. Ich wusste selbstverständlich niemals, ob der Assistent ein helleres oder dunkleres Grau eingestellt hatte.

In der einen Untersuchungsreihe wurden folgende Werthe gefunden¹⁾:

	6°	9°	41°
	32°	55°	61°
	35°	53°	55°
	29°	60°	70°
Im Durchschnitt	32°	56°	62°

An einem anderen Tage:

	5°	20°	40°
	50°	49°	62°
	48°	53°	64°
	22°	53°	61°
Im Durchschnitt	40°	51°	62°

Wenn man berücksichtigt, dass central schon ein Sector von $\frac{1}{2}^\circ$ heller als die Umgebung erscheint, so ergibt sich aus diesen Untersuchungen dasselbe Resultat wie aus den zuerst mitgetheilten.

Es war nun ferner meine Aufgabe, das Verhalten des peripheren Lichtsinns nach der zuerst besprochenen Methode bei herabgesetzter Beleuchtung zu studiren. Das Zimmer wurde durch eine Jalousie und ein Rouleau

¹⁾ In dieser und der folgenden Tabelle geben die Zahlen der ersten Reihe die Breite des weissen Sectors an.

verdunkelt, und die absolute Helligkeit wiederum nach der centralen Sehschärfe beurtheilt. Sie gestattete nach einer Adaptation von 20—30 Minuten stets noch das 2 mm-Quadrat wahrzunehmen.

Eine gleiche Verdunkelung an den verschiedenen Tagen war für meinen Zweck nicht nothwendig. Denn es kam mir nicht darauf an, absolute Werthe für das Verhalten des peripheren Lichtsinns bei herabgesetzter Beleuchtung zu gewinnen, sondern darauf, die Unterschiedsempfindlichkeit auf den seitlichen Theilen der Retina bei Tageslicht und bei verschieden starker Herabsetzung der Beleuchtung unter einander zu vergleichen.

In den folgenden Tabellen sind die Resultate dieser Experimente zusammengestellt.

I. Am 21. Januar 1888:

a) bei Tageslicht, 0.3 in 47 cm:

0°	40°
0,5°	7°

b) bei herabgesetzter Beleuchtung, 0.4 in 16 cm:

0°	40°
6°	7°

c) bei erheblicherer Verdunkelung, 0.8 in 20 cm:

0°	40°
7°	9°

II. Am 24. Januar 1888:

0°	30°	
0,5°	6°	Tageslicht, 0,3 in 46 cm
5°	9°	verdunkelt, 0,5 in 27 cm

III. Am 25. Januar 1888:

0°	30°	
0,5°	5°	Tageslicht, 0,3 in 55 cm
8°	12°	verdunkelt, 1,75 in 24 cm

IV. Am 26. Januar 1888:

0°	30°	
0,5°	5°	Tageslicht, 0,3 in 50 cm
6°	10°	verdunkelt, 1,25 in 26 cm

Aus diesen Experimenten folgt, dass unter gleichen Versuchsbedingungen das Verhältniss zwischen dem peripheren und centralen Lichtsinn bei Herabsetzung der Beleuchtung gegenüber demjenigen bei Tageslicht eine wesentliche Aenderung erleidet.

Während die periphere Unterschiedsempfindlichkeit 30°—40° seitwärts bei Tageslicht ungefähr zehnmal so schwach als central ist, zeigt sie sich bei einer gewissen Verdunkelung nur um etwa die Hälfte geringer als an der fovea. Diese Veränderung erfolgt hauptsächlich auf Kosten des centralen Lichtsinns. Derselbe sinkt ungefähr um das zwölffache bei einer Abnahme des peripheren Lichtsinns auf circa die Hälfte.

Es bleibt mir jetzt noch übrig, den Einfluss der Fixation auf das Verhalten des peripheren Lichtsinns zu besprechen. Nach den oben mitgetheilten Angaben von Schadow soll sich der periphere Lichtsinn, je nachdem man „direct oder indirect fixirt“, verschieden gestalten.

Bei Tageslicht wie bei herabgesetzter Beleuchtung habe ich verschiedene Male mit „indirecter Fixation“ den peripheren Lichtsinn zu prüfen versucht. Eine exacte Beobachtung auf diese Art anzustellen, ist mir aber niemals gelungen. Denn ich vermag das zu untersuchende Auge

nicht vollkommen ruhig zu halten, sobald ich „an dem Fixationsobject vorbeisehe“. Ich würde wenigstens nicht zu behaupten wagen, das Auge nicht bewegt zu haben. Ob Schadow und Butz, der die Untersuchungen ebenfalls bei „indirecter Fixation“ ausgeführt hat, das Auge so wenig bewegt haben, wie bei directer Fixation, und wie es für eine sichere Beobachtung einer umgrenzten Parthie der Netzhautperipherie nothwendig erscheint, darüber kann ich natürlich kein Urtheil abgeben. Anderenfalls würde es sich aber ohne die Annahme einer Einwirkung der Erregung der fovea centralis auf die Empfindlichkeit der Netzhautperipherie erklären, warum bei „indirecter“ Fixation der periphere Lichtsinn feiner als bei centraler gefunden wurde.

Denn, wenn das Auge bei indirecter Fixation nicht ruhig steht, so wird ein grösserer als dem Bilde des Untersuchungsobjects entsprechender Bezirk der Retina erregt. Es findet also dasselbe statt, als wenn ein grösseres Untersuchungsobject betrachtet wird. Ausserdem wird die betreffende Parthie der Netzhautperipherie in geringerem Grade ermüdet und zeigt sich desshalb empfindlicher. Es erscheint demnach fraglich, ob durch die Untersuchungen von Schadow eine Herabsetzung der Empfindlichkeit in der Netzhautperipherie bei gleichzeitiger Erregung der fovea centralis sicher bewiesen wird.

Ich selbst habe bei folgenden Beobachtungen einen derartigen Einfluss nicht feststellen können. Unter den oben beschriebenen Versuchsbedingungen habe ich den peripheren Lichtsinn bei 30° untersucht, indem ich einmal ein weisses 2 mm-Quadrat, ein anderes Mal eine kleine vertiefte Stelle auf der schwarzen Tafel fixirte, die bei jedem Versuch unmittelbar an den Apparat angelegt wurde. Die fixirte Stelle befand sich ca. 3° senkrecht über dem 2 mm-Quadrat. Dabei wurde also die fovea von dem Bilde der schwarzen Tafel bedeckt und in viel geringerem Grade als bei der Fixation des 2 mm-Quadrates erregt.

Bei diesem mehrfach wiederholten Experiment ergab sich weder beim Vergleich des subjectiven Helligkeitseindrucks des eben wahrnehmbaren grauen Quadrates, noch bei objectiver Feststellung des schwächsten noch erkennbaren Grau ein Unterschied. Selbstverständlich halte ich die Frage nach der Beeinflussung der Empfindlichkeit der Netzhautperipherie durch Reizung der fovea centralis durch diese Versuche nicht für endgültig entschieden; es erschien mir aber nicht überflüssig, die letzteren mitzuthemen.

Das durch meine Beobachtungen festgestellte Resultat einer nach der Peripherie der retina allmählich zunehmenden Verringerung des Lichtsinns steht im Einklang mit den Untersuchungen von Rupp, Exner, Dobrowolsky und Gaine, Chodin und Bull, und im Widerspruch mit denjenigen von Aubert, Schadow, Charpentier und Butz, die zu der Anschauung gelangt sind, dass der periphere Lichtsinn gleich dem centralen, in gewissen Bezirken demselben sogar überlegen sei.

Bei einer Betrachtung der Versuchsanordnung der verschiedenen Experimente ergibt sich nun, dass die zuerst genannten Untersucher — ebenso wie ich — bei Tageslicht resp. bei ungefähr entsprechender Helligkeit, die anderen bei herabgesetzter Beleuchtung experimentirt haben. Dieses Moment erscheint aber als ein sehr wesentliches. Es darf von vornherein nicht, wie es bisher geschehen ist, als gleichgültig für das Ergebniss der Untersuchung angesehen werden, ob man das periphere Sehen im Verhältniss zum centralen bei heller oder bei herabgesetzter Beleuchtung prüft. Dies ist erst gestattet, wenn man sich vorher davon überzeugt hat, dass eine Abnahme der absoluten Helligkeit die Empfindlichkeit der centralen und seitlichen Parthien der retina in demselben Grade beeinflusst. Dass man dieses Moment bisher unbeachtet gelassen hat, mag durch folgende Beispiele erläutert werden.

So nimmt Aubert keinen Anstand, seine bei Tages-

licht und im Dunkelzimmer angestellten Untersuchungen mit einander zu vergleichen.

Schadow führt in der Uebersicht über die Literatur des peripheren Lichtsinns die Beobachtungen von Aubert, Dobrowolsky und Gaine, Exner und Charpentier als vollkommen vergleichbar neben einander auf, obwohl sie zum Theil bei heller, zum Theil bei herabgesetzter Beleuchtung angestellt worden sind. Er glaubt, seine eigenen Untersuchungen des peripheren Licht- und Raumsinns, sowie Rählmann's Untersuchungen des peripheren Farbensinns in Parallele stellen zu dürfen, trotzdem nur der Raumsinn bei Tageslicht geprüft worden ist. Er hält sich für berechtigt, seine im Dunkelzimmer gewonnenen Resultate betreffend das Verhalten des peripheren Lichtsinns auf das Sehen bei Tageslicht zu übertragen und glaubt dementsprechend die entgegengesetzten Ergebnisse von Dobrowolsky und Gaine durch seine eigenen widerlegt zu haben.

Ganz dieselben Anschauungen und Schlussfolgerungen finden sich in der im Jahre 1883 von Butz veröffentlichten Dissertation.

Diese Beispiele mögen genügen. Soweit ich die Literatur durchgesehen habe, ist Bull¹⁾ der Einzige, welcher den Einfluss verschiedener absoluter Helligkeit auf die Untersuchung des peripheren Lichtsinns bemerkt, aber, wie mir scheint, die principielle Wichtigkeit dieses Momentes und jedenfalls die Ursache für dasselbe nicht erkannt hat.

Gehen wir jetzt zur Erörterung der Frage über, aus welchem Grunde sich das Verhältniss zwischen dem centralen und peripheren Lichtsinn bei herabgesetzter Beleuchtung durchaus anders als bei Tageslicht gestaltet, so hat Bull dieselbe durch die gelbe Pigmentirung der macula

¹⁾ l. c. pag. 80.

lutea zu erklären gesucht. Es sei anzunehmen, dass das gelbe Pigment, welches alle Retinaschichten durchdringt, eine beträchtliche Menge Licht absorbiren muss, und deshalb befinden sich die centralen Theile bei einer sehr schwachen Lichtintensität unter ungünstigeren Verhältnissen als die peripheren. Abgesehen davon, dass der Einfluss des gelben Pigmentes sich doch ebenso wie im Dunkelzimmer bei jeder Beleuchtung geltend machen sollte, da es von der letzteren in keiner Weise abhängig ist, wird die Bull'sche Anschauung durch meine Experimente widerlegt, aus denen sich ergibt, dass auch schon bei mässiger Verdunkelung der periphere Lichtsinn viel weniger als bei heller Beleuchtung hinter dem centralen zurücksteht.

Aus diesen Experimenten folgt nun aber auch ferner, dass bei unserer Frage nicht der Unterschied von Reizschwelle und Unterschiedsschwelle in Betracht kommt. Man könnte meinen, dass Schadow, Charpentier und Butz deshalb von den anderen Untersuchern abweichende Resultate gefunden hätten, weil sie im ganz verdunkelten Zimmer die Reizschwelle des Lichtsinns, jene aber bei heller Beleuchtung die Unterschiedsempfindlichkeit geprüft haben, und dass die Reizschwelle im Gegensatz zur Unterschiedsschwelle in der ganzen Ausbreitung der Netzhaut gleich gross sei. Diese Erklärung wird durch den von mir erbrachten Nachweis hinfällig, dass schon bei geringer Verdunkelung die Verhältnisse sich ähnlich, wie bei absolutem Ausschluss jeden Lichtes gestalten. Denn nur im letzteren Fall handelt es sich um eine Prüfung der Reizschwelle, im ersteren dagegen um eine solche der Unterschiedsschwelle.

Der Einfluss der Adaptation scheint mir in erster Linie geeignet zu sein, um über unsere Frage Licht zu verbreiten. Bei Untersuchungen der Adaptation, über welche ich im 2. Hefte des 33. Bandes dieses Archivs berichtet habe, war mir, wie auch schon verschiedenen Beob-

achtern vor mir, die höchst frappirende Erscheinung aufgefallen, dass bei der Adaptation die peripheren Abschnitte der Netzhaut den centralen in sehr hohem Grade überlegen sind. Man kann in der ersten Zeit nach dem Betreten eines dunklen Zimmers seitwärts Objecte schon verhältnissmässig gut erkennen, welche vollkommen verschwinden, sobald man den Blick direct auf sie richtet, und man kann nach einem gewissen Zeitraum, dessen Dauer von der Grösse und Helligkeit des Untersuchungsobjectes abhängt, Gegenstände indirect deutlicher als central wahrnehmen. Da diese Erscheinung sich bei fortschreitender Adaptation verliert, und da die fovea dann das ihr zukommende Uebergewicht über die Netzhautperipherie wieder zu gewinnen anfängt, so wird der Gedanke wachgerufen, dass die im Verhältniss zu den peripheren Netzhautparthien langsame Adaptation der fovea centralis die Ursache ist, weshalb der periphere Lichtsinn sich bei Abnahme der absoluten Helligkeit viel günstiger als bei Tageslicht darstellt.

Für die Richtigkeit dieser Erklärung fällt wesentlich das Ergebniss meiner Beobachtungen ins Gewicht, denen zufolge die Veränderung in dem Verhältniss zwischen peripherem und centralem Lichtsinn bei herabgesetzter Beleuchtung überwiegend auf Kosten des letzteren geschieht.

Es ist eine bisher nicht untersuchte Frage, bis zu welchem Grade die Sehkraft der fovea centralis bei protrahirter Adaptation zunimmt, und es ist somit noch unentschieden, ob die fovea soweit adaptiren kann, um in demselben Maasse wie bei Tageslicht über die Peripherie zu dominiren. Eben durch das Verhalten des centralen Lichtsinns bei Abnahme der absoluten Helligkeit wird es aber wahrscheinlich, dass die fovea zur vollkommenen Adaptation, d. h. zu dem höchsten überhaupt erreichbaren Grade der Adaptation, erheblich mehr Zeit beansprucht, als man bisher angenommen hat, dass sie selbst nach zwei Stunden

nicht vollkommen adaptirt ist ¹⁾). Dass aber die Adaptation der centralen Netzhautparthien innerhalb des eben genannten Zeitraums dauernd ansteigt, geht aus Aubert's Experimenten hervor. In dem vierten Versuch z. B. nahm die Empfindlichkeit des Auges innerhalb zwanzig Minuten um das 28fache, innerhalb 138 Minuten um das 35fache zu. Es darf deshalb angenommen werden, dass Schadow, Charpentier und Butz den centralen Lichtsinn feiner, als es der Fall gewesen, gefunden hätten, wenn sie nicht nach einer Adaptation von 20 Minuten, sondern von zwei Stunden ihre Beobachtungen begonnen hätten. Dass sie dieselben bis zu zwei Stunden ausgedehnt haben, spricht nicht hiergegen, weil während der Versuche die fovea von neuem ermüdet worden ist. Dabei muss an dieser Stelle noch besonders darauf hingewiesen werden, dass sich der periphere Lichtsinn im Dunkelmzimmer bei den mit einer höchst exacten Methode ausgeführten Untersuchungen von Schadow thatsächlich schwächer als der centrale erwies, sobald direct fixirt wurde, und dass sich, wie ich oben gezeigt habe, gegen die Zuverlässigkeit der „indirecten Fixation“ Schadow's, bei welcher der periphere Lichtsinn stärker gefunden wurde, begründete Zweifel erheben.

Ob ausser der Adaptation, die meiner Ansicht nach in erster Linie in Betracht kommt, auch die verringerte Helligkeit als solche darauf einen Einfluss ausübt, dass der periphere Lichtsinn bei herabgesetzter Beleuchtung relativ

¹⁾ Das Auge befindet sich wie kaum ein anderes Sinnesorgan während des ganzen Tages in Thätigkeit, und diese Thätigkeit concentrirt sich überwiegend auf die centralen Parthien der Netzhaut. Wenn man nun von der Anschauung ausgeht, dass die Adaptation als eine Abnahme der Ermüdung des Auges aufzufassen ist — eine Auffassung, bei der sich die schnellere Adaptation der Netzhautperipherie in plausibler Weise erklärt —, dann ist es nicht wahrscheinlich, dass die fovea sich in erheblich kürzerer Zeit als die Ermüdung gewährt hat, vollkommen adaptirt.

wenig hinter dem centralen zurücksteht, darüber kann bei dem heutigen Stande unserer Kenntnisse nichts Gewisses ausgesagt werden. Da die Leistungsfähigkeit des Gesichtsinns im Dunkeln sich verändert, z. B. die Unterschiedsempfindlichkeit um so geringer wird, je mehr die absolute Helligkeit sinkt, so wäre es denkbar, dass die Herabsetzung der Beleuchtung als solche, d. h. unabhängig von der Adaptation, die centralen und peripheren Netzhautparthien in verschiedenem Grade beeinflusst. Ich wollte deshalb diesen Punkt wenigstens erwähnt haben.

Gleichzeitig möchte ich kurz darauf hinweisen, dass die Lehre von der Funktionirung des Gesichtsinnes bei herabgesetzter Beleuchtung einer Revision unterzogen werden müsste, falls es sich als richtig erweisen sollte, dass das Auge bei sehr protrahirtem Aufenthalt im Dunkeln erheblich mehr adaptirt, als man bisher angenommen hat.

Wenn aber diese Annahme, die ich, da mir eigene Beobachtungen darüber nicht zu Gebote stehen, ausdrücklich nur als Hypothese hinstellen kann, sich nicht als richtig erweisen sollte, so möchte ich doch an meiner Erklärung bezüglich des Verhaltens des peripheren Lichtsinns bei herabgesetzter Beleuchtung festhalten. Sie ist, wie mir scheint, durch den von verschiedenen Seiten erbrachten Nachweis einer relativ langsamen Adaptation der centralen Netzhautparthien, sowie durch die von Aubert festgestellte dauernde Zunahme der Adaptation während der ersten zwei Stunden nach Betreten des dunkeln Raumes hinreichend begründet.

Ausser den in der Uebersicht über die Literatur mitgetheilten Experimenten sind in den betreffenden Abhandlungen verschiedene gelegentliche Beobachtungen erwähnt, welche nach der Ansicht der Autoren dafür sprechen, dass der periphere Lichtsinn gleich, resp. besser als der centrale ist. Alle diese Angaben erklären sich als eine Folge von

unvollkommener Adaptation der fovea. So z. B. die Bemerkung von Exner¹⁾, dass er einmal eine Fähnenstange, die den Nachthimmel als Hintergrund hatte, im indirecten Sehen sehr wohl erkennen, im directen dagegen nichts von derselben sehen konnte. Ferner der Versuch von Schadow²⁾, dass, wenn bei directer Fixation der Lichtquelle noch keine Empfindung eintritt, dieselbe bei Seitwärtswendung des Auges um 30 ° jedes Mal hervorgerufen werden konnte. Schadow legt ferner auf folgende Beobachtungen grosses Gewicht. Wurde ein leuchtender Punkt central fixirt und die Intensität des Lichtes soweit verringert, dass jede Lichtempfindung aufgehört hatte, so war eine solche durch Seitendrehung des Auges sofort wieder hervorzurufen. Auch diese Erscheinung ist meiner Ansicht nach so zu erklären, dass die Adaptation der fovea noch nicht soweit vorgeschritten war, um central eine gewisse Lichtintensität, die seitwärts schon gesehen wurde, erkennen zu können. Auf diese Weise ist auch die lange bekannte und oft citirte Beobachtung zu deuten, dass die Astronomen sehr lichtschwache Sterne, die sie bei directem Blick nicht wahrnehmen, seitwärts erkennen. Uebrigens hat schon Aubert³⁾ gezeigt, dass aus dieser Beobachtung nicht auf eine Ueberlegenheit des Lichtsinns der Netzhautperipherie über denjenigen an der fovea geschlossen werden darf.

Zum Schluss möchte ich noch, ohne die Frage eingehend zu erörtern, in Kürze bemerken, dass bezüglich der Untersuchungen des peripheren Farbensinns bei herabgesetzter Beleuchtung dieselben Bedenken wie beim peripheren Lichtsinn geltend gemacht werden müssen. Die Empfindlichkeit des Auges für Farben nimmt, wie z. B. Chodin gezeigt hat, vom Centrum nach der Peripherie hin ab. Die entgegengesetzten Resultate von Rählmann und Butz sind meiner Ansicht nach dadurch zu erklären,

¹⁾ l. c. pag. 237.

²⁾ l. c. pag. 445.

³⁾ l. c. pag. 91.

dass die centralen Bezirke der retina viel langsamer als die peripheren adaptiren. Auch hier gewähren die Beobachtungen des Gesichtsinnes bei Tageslicht den wahren Ausdruck der Erscheinungen. Ist doch das Tageslicht die natürliche, physiologische Bedingung für die Functionirung des Sehorgans. Dabei muss es gewiss als eine Aufgabe der experimentellen Physiologie anerkannt werden, die Leistungsfähigkeit des Auges bei verschiedenen Graden absoluter Helligkeit zu untersuchen, und das um so mehr, als das Licht naturgemäss im Laufe des Tages allmählich bis zu einer gewissen Höhe ansteigt und dann wieder abfällt. Die bei solchen Experimenten festgestellten Resultate erhalten aber erst einen Werth durch Vergleich mit der Leistung des Sehorgans bei hellem Licht, und sie werden in Folge des Einflusses der Adaptation um so unsicherer, bei um so stärkerer Verdunkelung sie gewonnen worden sind.