

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

Über die absolute Empfindlichkeit der verschiedenen Netzhautteile im dunkeladaptierten Auge.

(Nach Versuchen der Herren Dr. BREUER und A. PERTZ.)

Von

J. VON KRIES.

(Mit 4 Fig.)

Seit lange ist bekannt, daß die Fovea centralis eine geringere absolute Lichtempfindlichkeit besitzt, als die exzentrischen Teile der Netzhaut, d. h. daß stärkere Lichtreize auf sie einwirken müssen, um eine merkliche Lichtempfindung hervorzurufen. Wenn in Bezug hierauf die älteren Angaben mancherlei Widersprechendes enthalten, so wissen wir gegenwärtig, worauf in der Hauptsache diese Differenzen zurückzuführen sind. Die Steigerung der Empfindlichkeit durch Adaptation kommt nämlich ausschließlich den extrafovealen Teilen der Netzhaut zugute, während die Fovea selbst an dieser Steigerung nicht, jedenfalls nicht in nennenswerter Weise, partizipiert. So ist denn das Übergewicht der extrafovealen Teile über die Fovea im dunkeladaptierten Auge ein sehr beträchtliches, während es bei größerer Helladaptierung immer geringer und vermutlich sogar meist in sein Gegenteil verkehrt wird. Die Unterempfindlichkeit der Stelle des deutlichsten Sehens bei guter (sogar schon bei mäßiger) Dunkeladaptation zu konstatieren, gelingt ungemein leicht. Es ist nur notwendig, sich auf einem tiefdunkeln Hintergrunde eine größere Anzahl kleiner lichtschwacher Objekte zu verschaffen, etwa von solcher Lichtstärke, daß sie überhaupt erst nach einem Dunkelaufenthalt von 5—10 Minuten wahrnehmbar werden. Man wird dann leicht bemerken, daß von diesen Ob-

jekten (sofern sie klein genug sind ¹), stets dasjenige verschwindet, welchem man den Blick direkt zuwendet.

Eine messende Untersuchung des Gegenstandes wird, wie man hiernach schon sagen kann, Aussicht auf konstante und vergleichbare Ergebnisse nur dann haben, wenn sie unter der Bedingung maximaler Dunkeladaptation ausgeführt wird. Teils aus diesem Grunde schien mir eine erneute Bearbeitung des Gegenstandes erwünscht, zum Teil aber auch deswegen, weil in den älteren Versuchen in der Regel die Steigerungen der Empfindlichkeit, welche bereits in sehr kleinen Abständen vom Zentrum auftreten, nicht mit genügender Schärfe berücksichtigt worden sind.

Da man die ganze Hemeralopie der Fovea selbst damals noch nicht kannte, auch noch keinen theoretischen Grund hatte, erhebliche Änderungen schon in ganz geringen Abständen vom Zentrum zu erwarten, so erschien es öfter ausreichend, z. B. das Zentrum mit einer Stelle in 5° Zentralabstand zu vergleichen, wobei gewisse vorzugsweise interessante Details außer Betracht bleiben. Außerdem aber hatte man auch noch keinen Anlaß, bei der Ermittlung der zentralen Empfindlichkeit einer ganz genau fovealen Fixation eine so peinliche Sorgfalt zuzuwenden, wie dies jetzt geboten erscheint, und so dürfte in manchen Fällen wohl eine parazentrale Empfindlichkeit statt der wirklich zentralen ermittelt worden sein.

Versuche in der erwähnten Richtung sind im Laufe des letzten Jahres von den Herren Dr. BREUER und Dr. PERTZ angestellt worden, nach etwas verschiedenen Methoden. Obgleich das von Herrn PERTZ benutzte Verfahren in vieler Beziehung das vollkommnere war, will ich doch zunächst auch über die Versuche BREUERS berichten.

I.

Es war bei dieser ersten Reihe hier mitzuteilender Versuche gerade auf die Prüfung der Empfindlichkeit in kleinen Zentralabständen abgesehen und wurde aus diesen Gründen eine ebene Verschiebung der zur Prüfung dienenden Objekte angewandt. Im einzelnen war das Verfahren in folgender Weise hergerichtet:

¹ Eine Ausdehnung von $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{2}^{\circ}$ ist am meisten zu empfehlen.

der Beobachter, dessen Kopf durch einen passenden Halter fixiert war, hatte sich gegenüber in 50 cm Augenabstand ein vertikal aufgestelltes ebenes mit schwarzem Sammet überzogenes Brett. Dem beobachtenden Auge gerade gegenüber war in diesem Brett eine Öffnung angebracht, die von hinten her mit einem Stück Milchglas bedeckt war. In den Sammet wurde etwa über der Mitte jener Öffnung mit der Nadel ein feines Loch eingestochen und man erhielt so bei Aufstellung einer Gasflamme hinter dem Milchglas ein sehr kleines, in seiner Helligkeit leicht passend regulierbares Fixationszeichen. Die Helligkeit wurde stets so gewählt, daß das Zeichen durch genaue Fixation niemals zum Verschwinden gebracht werden konnte, aber sie wurde über den hierfür erforderlichen Wert nicht sehr erheblich gesteigert, so daß der auf die Fovea ausgeübte Lichtreiz immerhin ein sehr geringer war. Als eigentliche Prüfungsobjekte dienten runde Papierscheibchen, welche verschieden stark beleuchtet werden konnten; sie waren an Trägern befestigt, die auf einem langen Stabe mittels Schlittenführung verschieblich waren, so daß die Scheibchen, in horizontaler Richtung beweglich, dem Fixierzeichen angenähert oder von ihm entfernt werden konnten. Ihr Durchmesser betrug 3 mm, so daß sie unter einem Winkel von $0,35^\circ$ gesehen wurden. Ihre Mitte befand sich mit dem Fixierzeichen auf gleicher Höhe. Da nun die Versuche sogleich herausstellten, daß die Empfindlichkeit selbst bei mäßigen Exzentrizitäten gegenüber der zentralen sehr erheblich anwächst, exzentrisch sichtbare Objekte also bei Annäherung an den Fixierpunkt unsichtbar werden, so wurde so zu Werk gegangen, daß bei passend gewählten Helligkeiten der Objekte diejenigen Abstände vom Zentrum gesucht wurden, in denen sie nicht mehr sichtbar waren. Hierdurch war die, technisch niemals sehr bequeme Varierung der Helligkeit innerhalb des einzelnen Versuchs umgangen und statt dessen, ähnlich wie bei Gesichtsfeldversuchen am Perimeter die Verschiebung des Objektes zur Aufgabe gemacht, welche hier vom Beobachter leicht und bequem besorgt werden konnte. Da die Papierscheibchen ein wenig vor dem Fixierzeichen lagen, so konnte ihr Abstand von einander leichter als der vom Fixierzeichen bestimmt werden; in einer ersten Reihe von Versuchen wurde daher nicht der Abstand eines einzelnen Scheibchens vom Fixierzeichen bestimmt, der erforderlich war um es unsichtbar zu machen, sondern es wurden beide Scheibchen von rechts und

links so weit angenähert, bis beide verschwanden. Der Abstand ihrer äusseren Ränder konnte dann als die horizontale Breite des Verschwindungsbezirks für die gerade benutzte Helligkeit und Objektgrösse bezeichnet werden. In späteren Versuchen wurde dagegen, weil sich die nicht symmetrische Lage des Verschwindungsbezirkes gegen den Fixierpunkt herausgestellt hatte, jeweils nur mit einem Scheibchen gearbeitet und alsdann dessen Abstand von derjenigen Stellung ermittelt, bei welcher sein (rechter oder linker) Rand gerade mit dem Fixierzeichen zur Deckung kam, so daß auf diese Weise die Erstreckung des Bezirks, innerhalb dessen das Objekt unsichtbar war, vom Fixierpunkt an gemessen werden konnte.

Überflüssig wäre es, die kleinen Hilfsmittel für die Ausführung der Messungen anzugeben. In der Regel wurde die Stellung der Scheiben nicht an der Millimetereinteilung des sie tragenden Stabes abgelesen, was ohne störende Beeinträchtigung der erreichten Dunkeladaptation nicht ausführbar gewesen wäre; vielmehr waren die Schieber mit horizontalen federnden Stahlblättchen versehen, welche Nadelspitzen trugen. Durch Niederdrückung derselben wurden an untergeschobenen Kartonblättchen feine Marken gemacht, deren Abstand hinterher ausgemessen werden konnte.

Wichtiger sind einige Punkte in Bezug auf die Ausführung der Versuche. Vor allem ist zu bemerken, daß niemals in der Weise vorgegangen wurde, daß etwa bei festgehaltener Fixation die Scheibchen hin- und hergeschoben worden wären, um den Punkt des Verschwindens zu ermitteln. Vielmehr wurde immer, nachdem den Scheibchen eine bestimmte Stellung gegeben war, der Blick zunächst etwas über oder unter den Objekten beliebig bewegt, dann dem Fixierzeichen plötzlich fest zugewandt und geprüft ob hierbei die Scheibchen sichtbar blieben oder unsichtbar wurden. Nur auf diese Weise konnte man hoffen, eine störende Ermüdung der geprüften Netzhautpartieen zu vermeiden. In den meisten Fällen wurde auch die foveale Empfindlichkeit selbst bestimmt; hier mußte natürlich die Stärke der Beleuchtung variiert werden um diejenige zu finden, bei welcher eines der benutzten Scheibchen bei direkter Fixation eben nicht mehr verschwand.¹

¹ Mit Rücksicht auf das zuweilen geäußerte Bedenken, daß die zentrale Empfindlichkeit mit fixiertem, die exzentrische dagegen meist mit

Was die Herstellung und Messung der verschiedenen Helligkeiten anlangt, so geschah sie durch Variierung des Abstandes einer auf konstanter Höhe gehaltenen Gasflamme. In der Regel wurde ein Brenner benutzt, bei welchem das Gas aus einer runden Öffnung von 1,5 mm Durchmesser ausströmte; die Flamme wurde dabei auf einer bestimmten Höhe (fast immer 2 cm) gehalten, die an dem mit Teilung versehenen Glaszylinder kontrolliert wurde. Eine passend aufgestellte Bahn gestattete die Entfernung der Flamme von den Objekten von 40 cm bis etwas über 6 m zu variieren. Da in einem Zimmer gearbeitet wurde, in dem Wände, Decke und alle größeren Gegenstände schwarz angestrichen waren, so war die Helligkeit der Objekte ohne erheblichen Fehler dem Quadrate des Abstandes der Lichtquelle umgekehrt proportional zu setzen. Selbstverständlich war Sorge getragen, daß von derjenigen Flamme, welche zur Erleuchtung des Fixierzeichens diente, keine merklichen Lichtmengen sich im Zimmer verteilen konnten.

Ein gewisser Mangel der BREUER'schen Versuche bestand aber darin, daß bei ihnen stets ein gemischtes, seiner Qualität nach nicht genau definiertes Licht angewandt wurde. Die Benutzung des gewöhnlichen Gaslichtes erschien nicht vorzugsweise ratsam, weil bereits bekannt war, daß die hauptsächlich interessierende extrafoveale Empfindlichkeitssteigerung bei Anwendung eines rein weißen oder schwach bläulichen Lichtes sehr viel stärker ist. Die Flammen wurden daher mit käuflichen blauen Zylindern umgeben. Die Verteilung der Empfindlichkeit in topographischer Weise zu ermitteln, konnte man natürlich auf diese Weise hoffen, wenn allerdings auch die Ergebnisse wegen der undefinierten Art des benutzten Lichtes keine allgemeinere Vergleichbarkeit besitzen konnten. Wenn ich noch erwähne, daß stets dem Beginn der Versuche eine mindestens $\frac{1}{2}$ stündige Dunkeladaptation vorausging, so dürfte damit das Wesentlichste, was über die Technik der BREUER'schen Versuche anzuführen ist, erschöpft sein.

wanderndem Blick, also unter wesentlich günstigeren Bedingungen geprüft werde, sei hier besonders darauf hingewiesen, daß zentrale und exzentrische Empfindlichkeit unter genau gleichen Bedingungen untersucht werden, beide nämlich so, daß im Augenblick, wo der Versuch beginnt, das Netzhautbild auf die zu prüfende Stelle gebracht wird und dann dort fixiert bleibt.

Da die Versuche, bei denen nur die Gesamtgröße des Verschwindungsbezirks ermittelt wurde, nur eine vorläufige Bedeutung besaßen, so genügt es hier summarisch das mittlere Ergebnis mehrerer Versuchsreihen anzuführen. Ich gebe dasselbe in der folgenden Tabelle in der Weise, daß im 1. Stabe die Helligkeit als Bruchteil derjenigen, die als fovealer Schwellenwert ermittelt worden war, angegeben ist; der 2. Stab gibt den horizontalen Durchmesser des zentralen Verschwindungsbezirks; der 3. gibt den reziproken Wert der im ersten Stabe aufgeführten Helligkeiten; seine Zahlen können also als Maß für die am Rande der betreffenden Bezirke vorhandenen Empfindlichkeiten benutzt werden.

Tabelle I.

Helligkeit	Ver- schwindungs- bezirke	Empfind- lichkeit am Rande der Bezirke
0,45	1° 43'	2,2
0,2	2° 20'	5,0
0,05	4°	20,0
0,022	6° 25'	45,0
0,0125	7° 41'	80,0
0,008	8° 36'	125,0
0,0056	9° 59'	180,0

Die Resultate derjenigen Versuche, bei welchen die temporale und nasale Seite der Verschwindungsbezirke gesondert bestimmt wurde, sind in den nachstehenden Tabellen II—V zusammengestellt; dieselben enthalten im 1. Stabe die Helligkeit des Objekts in einer willkürlichen Einheit¹, im 2. die reziproken Werte

¹ Die hier als Einheit zu Grunde gelegte Helligkeit ist hier stets annähernd die Hälfte des zentralen Schwellenwerts gewesen, doch ist eine jedesmalige Bestimmung dieses letzteren nicht vorgenommen worden, sondern es wurde, nachdem für denselben eine Anzahl von Werten ermittelt worden war, immer sogleich mit einer etwa der Hälfte dieses Werts gleichkommenden Beleuchtung begonnen.

dieser Helligkeiten, welche als Maß der in dem betreffenden Zentralabstand sich findenden Empfindlichkeit gelten können, im 3. die temporale, im 4. die nasale Erstreckung des Verschwindungsbezirks, im 5. die Summe beider. Die Tabellen II—V geben die Resultate von 4 derartigen Beobachtungsreihen, wobei wieder jede Zahl der Mittelwert von 4 Einstellungen ist. In Tabelle V sind die in einem gleichzeitig (resp. alternierend) ausgeführten Parallelversuche von Dr. NAGEL gefundenen Werte im 6. bis 8. Stabe hinzugefügt.

Tabelle II. (Beob. BREUER).

Lichtstärke	Empfindlichkeit	Temporal Abstand in Graden	Nasaler Abstand in Graden	Breite des Verschwin- dungs- bezirks in Graden
1	1	1,02	0,87	1,89
0,56	1,78	1,14	0,82	1,96
0,14	7,12	1,78	1,09	2,68
0,062	16,02	2,36	1,98	4,34
0,035	28,48	3,58	2,95	6,53
0,022	44,50	4,58	3,96	8,54
0,016	64,08	4,40	4,87	9,27

Tabelle III.

1	1	0,95	0,69	1,64
0,56	1,78	1,14	1,19	2,33
0,14	7,12	1,66	1,44	3,10
0,062	16,02	2,12	1,89	4,01
0,035	28,48	3,0	2,8	5,80
0,022	44,50	2,93	2,88	5,81
0,016	64,08	4,60	4,01	8,61

Tabelle IV.

Lichtstärke	Empfindlichkeit	Temporaler Abstand in Graden	Nasaler Abstand in Graden	Breite des Verschwindungsbezirks in Graden
1	1	0,98	0,85	1,84
0,56	1,78	1,25	1,09	2,35
0,14	7,12	1,66	1,49	3,15
0,062	16,02	2,24	1,71	3,41
0,035	28,48	2,8	2,24	5,04
0,022	44,50	4,07	3,15	7,22
0,016	64,08	3,67	3,2	6,87

Tabelle V.

BREUER.

Dr. NAGEL.

Lichtstärke	Empfindlichkeit	Temporaler Abstand	Nasaler Abstand	Breite des Verschwindungsbezirks	Temporaler Abstand	Nasaler Abstand	Breite des Verschwindungsbezirks
1	1	1,32	0,98	2,30	1,30	0,76	2,06
0,56	1,38	1,36	1,12	2,48	1,5	0,90	2,40
0,14	7,12	1,71	1,55	3,26	1,84	1,22	3,06
0,062	16,02	2,46	2,06	4,52	2,90	2,35	5,25
0,035	28,48	2,58	2,35	4,93	5,23	3,23	8,46

Bei der nahen Übereinstimmung aller Ergebnisse wird es zulässig sein, ein Gesamtmittel aus den Resultaten der Tab. II—V zu nehmen, welches die folgende Tabelle VI enthält. Sie führt im ersten Stabe die Empfindlichkeiten im zweiten und dritten die (nasalen und temporalen) Abstände an, in welchen dieselben gefunden werden, im vierten die Gröfse des ganzen unterhalb der betr. Empfindlichkeit bleibenden Bezirks.

Tabelle VI.

Empfindlichkeit	Temporal Abstand in Graden	Nasaler Abstand in Graden	Breite des Verschwin- dungs- bezirks in Graden
1	1,07	0,85	1,92
1,78	1,22	1,06	2,28
7,12	1,70	1,38	3,08
16,02	2,3	1,92	4,22
28,48	3,0	2,58	5,58
44,50	3,75	3,33	7,08
64,08	4,04	4,04	8,08

Als Ergebnis der mitgeteilten Versuche würde zunächst zu fixieren sein, daß die Empfindlichkeit gegen die hier benutzten gemischten Lichter innerhalb eines ein wenig über 2° messenden

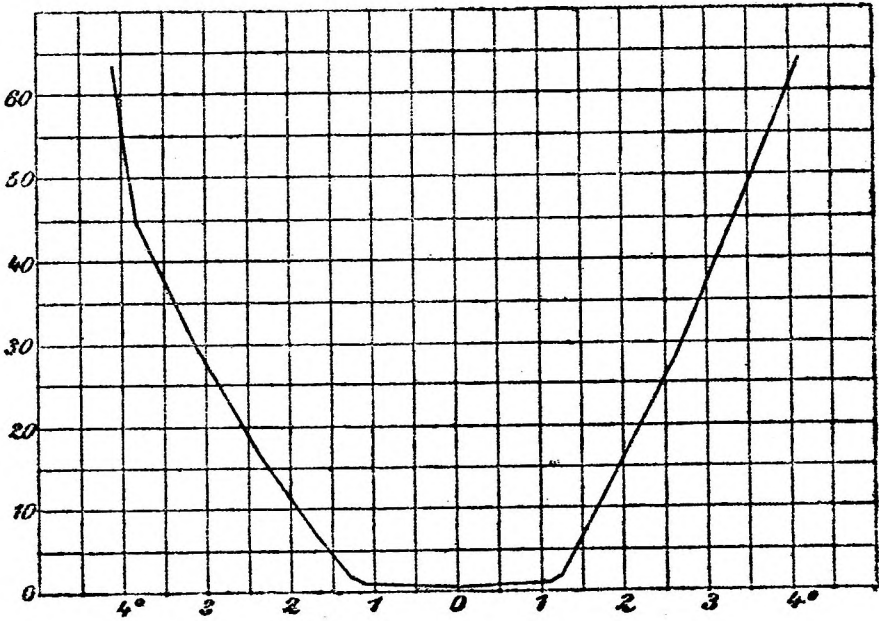


Fig. 1. Empfindlichkeit für gemischtes (bläulich-weißes) Licht in der Fovea centralis und ihrer näheren Umgebung. Links temporales, rechts nasales Gesichtsfeld.

Bezirks äußerst wenig, von da ab rapide gegen die Peripherie hin ansteigt. Die Steigerung der Empfindlichkeit erfolgt, wie man sieht, auf der nasalen Seite (des Gesichtsfeldes) deutlich schneller, als auf der temporalen. Im übrigen wird die graphische Darstellung in Fig. 1, welcher die Zahlen der Tab. VI. zu Grunde

liegen (die Zentralabstände sind als Abscisse, die Empfindlichkeiten als Ordinaten aufgetragen) die Gestaltung der Dinge genügend veranschaulichen.

Obgleich nun das Hauptinteresse der Untersuchung sich allerdings auf die nähere Umgebung des Zentrums richtete, so war es doch wünschenswert, wenigstens ungefähr zu ermitteln, bis zu welchen Abständen sich die Zunahme der Empfindlichkeit verfolgen läßt.

Für die Untersuchung größerer Exzentrizität war jedoch das gleiche Verfahren nicht wohl anwendbar. Denn da hier die Empfindlichkeit sich viel allmählicher ändert als in kleinen Abständen vom Zentrum, so ist die Ermittlung eines Verschwindungsbezirks schwierig und unsicher. Es wurde daher, um über den weiteren Gang wenigstens eine gewisse Vorstellung zu bekommen, so verfahren, daß dasselbe Objekt abwechselnd mit 6° , 12° und 18° Exzentrizität betrachtet und jedesmal durch Variierung der Beleuchtungsstärke der Schwellenwert der Sichtbarkeit aufgesucht wurde. Bei diesen Versuchen wurde der Kopfhalter gegen das Fixierzeichen derart verschoben, daß, wenn das Objekt dem Auge gerade gegenüber stand, das Fixierzeichen um 12° davon entfernt war; wenn dann das Objekt um 6° nach der einen oder andern Richtung verschoben war, so wurde es nunmehr noch unter einem Winkel von 84° gesehen, so daß die Verkleinerung des Gesichtswinkels außer acht gelassen werden konnte. Die Beleuchtung wurde hierbei auch durch Wechsel des Flammenabstandes variiert, jedoch (um nicht zu große Entfernungen oder zu kleine Flammen benutzen zu müssen) mit der Modifikation, daß die Flamme feststand, ihr Licht jedoch nicht direkt, sondern von einem ebenen Spiegel reflektiert, auf das Objekt traf. Indem der Spiegel auf einer langen Bahn verschieblich angebracht war, verschob sich das das Objekt beleuchtende virtuelle Bild der Flamme um die doppelten Werte und es konnte so die Stärke der Beleuchtung ohne Schwierigkeit ermittelt werden. Auf diese Weise fand sich, die Empfindlichkeit bei 6° Abstand = 1 gesetzt, temporal bei 12° 1,38; bei 18° 1,64; nasal bei 12° 1,54 bei 18° 1,37. Man sieht also, daß das anfänglich rapide Ansteigen in größeren Abständen einem sehr langsamen Platz macht und schließlich aufhört.

II.

Von den Untersuchungen des Herrn BREUER unterscheiden sich die des Herrn PERTZ hauptsächlich in einer Beziehung. Es war nämlich bei den BREUER'schen Versuchen zum Zwecke einer genauen Feststellung der Blickrichtung stets ein Fixierzeichen sichtbar. Nun ist bekannt, daß die direkte Wahrnehmung eines helleren Lichts die Sichtbarkeit exzentrisch erscheinender lichtschwacher Objekte beeinträchtigt. Obwohl ein Einfluß dieses Umstandes bei der Kleinheit und geringen Lichtstärke der Fixationsmarke nicht sehr wahrscheinlich war, so erschien es doch denkbar, daß derselbe, namentlich bei sehr kleinen Abständen vom Zentrum sich bemerklich machte, und war es demgemäß erwünscht, ihn auszuschließen. Hierfür bot sich, da die Benutzung einer Fixationsmarke anderseits aus den schon oben erörterten Gründen ganz unerläßlich war, nur der Modus einer alternierenden Darbietung des Fixierzeichens einerseits, des auf seine Sichtbarkeit zu prüfenden Objekts anderseits. Dies wurde in folgender Weise zur Ausführung gebracht. Unmittelbar vor dem beobachtenden Auge befand sich ein mikroskopisches Deckgläschen, welches, an einem langen Hebel befestigt durch einen Fingerdruck soweit herabbewegt werden konnte, daß das Auge darüber hinweg sah. Bei Hochstellung des Deckgläschens konnte, da die Hinterfläche desselben mit schwarzem Papier bezogen war, durch dasselbe nicht durchgesehen werden; das Auge erblickte lediglich durch Spiegelung an der Vorderfläche ein kleines elektrisches Glühlämpchen, dessen Spiegelbild als Fixiermarke diente. Bei Niederdrückung des Hebels verschwand dieses Spiegelbild und das Auge hatte nunmehr frei sich gegenüber das auf seine Sichtbarkeit zu prüfende Objekt. Bei diesem Verfahren gilt es natürlich vor allem die Stellung des Auges in dem Moment, wo der Hebel niedergedrückt wird, unverändert festzuhalten. Die Erfahrung lehrte, daß dies bei den ersten Versuchen nicht ganz leicht ist, aber nach kurzer Einübung mit voller Sicherheit gelingt. Zu bemerken ist dabei, daß die schwierige Aufgabe, die Stellung des Auges ohne Fixiermarke festzuhalten, hier nicht, oder doch nur auf äußerst kurze Zeit, gestellt wird. Man verfährt also so, daß man in dem Moment wo der Versuch beginnen soll, den Blick fest auf das Fixierzeichen richtet, nun einige Mal nacheinander den Hebel niederdrückt um ihn sogleich wieder

hinaufgehen zu lassen und dabei prüft, ob das Objekt sichtbar ist. In dem Augenblick in dem der Hebel die hohe Stellung wieder einnimmt hat man naturgemäß auch sofort eine Kontrolle, ob man die Blickrichtung festgehalten hat oder nicht.¹

Abgesehen hiervon war das Verfahren gegenüber dem BREUER'schen in noch einigen Beziehungen abgeändert. Da die Untersuchung auch etwas größerer Exzentrizitäten erwünscht war, so konnte die ebene Verschiebung des Objekts nicht beibehalten werden; eine Führung im Kreisbogen ist mit der Forderung einer genauen quantitativ bestimmten Helligkeitsvariierung sehr schwer vereinbar; es wurde daher auf die Verschiebung des Objekts überhaupt verzichtet und statt dessen das Fixierzeichen beweglich gemacht. Dies ließ sich sehr leicht erreichen, indem das zu spiegelnde Glühlämpchen an einem um eine vertikale Achse drehbaren Arm befestigt wurde; ein über einer Kreisteilung laufender Zeiger gestattete dann ohne weiteres die Ablesung der Winkelabstände, in denen sich das Spiegelbild des Lichtpünktchens von dem (feststehenden) Objekt befand. Das Objekt selbst war, diesen Abänderungen entsprechend, nun auch ein anderes als in den früheren Versuchen. Der Beobachter blickte nämlich in einen 120 cm langen schwarzgestrichenen Kasten hinein, in dessen Hinterwand sich die passend zu erleuchtende Öffnung befand. Da außer den sehr geringen, durch die Öffnung selbst eindringenden Lichtmengen keine irgend nennenswerten Lichtquantitäten in den Kasten gelangen konnten, erschien das Objekt auf absolut schwarzem Grunde. Die Erleuchtung der Öffnung geschah zuerst so, daß diese mit einer Milchglasplatte bedeckt wurde und eine konstant gehaltene Gasflamme in variable Entfernung gebracht wurde. Indessen war es hier schwierig, die Entfernungen in dem ungemein beträchtlichen Spielraum zu variieren, wie sich dies namentlich für blaues Licht als erforderlich herausstellte. Da überdies auch vielleicht bezweifelt werden konnte, ob das Milchglas das Licht so vollständig zerstreut, daß seine Helligkeit dem Quadrat des Abstandes umgekehrt proportional gesetzt werden darf, so wurde dann hinter der Öffnung

¹ Daß die Festhaltung der Blickrichtung nach Verschwinden des Fixierzeichens für mehrere Sekunden nicht wohl gelingt, stellte sich auch hier heraus, in Übereinstimmung mit den Beobachtungen EXNER's (Über autokinetische Empfindungen, *diese Zeitschrift* XII, S. 321).

ein weißes Papierblatt aufgestellt, dessen Beleuchtung durch Variierung des Flammenabstandes gewechselt wurde. Hier bot sich dann zugleich sehr einfach die Möglichkeit einer noch weitergehenden Verminderung der Helligkeit, indem an Stelle des weißen Blattes ein Kreisel mit schwarzem und weißem Sektor aufgestellt wurde, so daß die Verkleinerung des weißen Sektors eine weitere Verminderung der Helligkeit gestattete. In der Regel wurde er auf $20\text{--}25^\circ$ verkleinert, sodaß die Variierung der Flammenabstände innerhalb des gleichen zuvor bei reinem Weiß benutzten Spielraumes nunmehr ein vergleichbares zweites Stück der Intensitätsreihe liefert.

Zu bemerken ist schliesslich bezüglich der Ausführung der Versuche noch, daß hier stets der Beobachter mittels eines Schnurlaufs die auf einer Bahn leicht gleitenden Flammen hin und herzuschieben hatte, bis ihm das Objekt eben sichtbar erschien. Die hiernach eingestellten Entfernungen wurden von einem Gehilfen abgelesen und notiert. Eine weitere Komplizierung der Methodik unter Heranziehung der mannigfachen von der neueren Psychophysik ausgebildeten und bei der Bestimmung von Schwellenwerten angewandten Verfahrensweisen schien bei der ohnehin bedeutenden Schwierigkeit der Versuche nicht angezeigt und, da es sich nur um eine Vergleichung verschiedener Netzhautstellen handelte, entbehrlich. Wichtig ist noch eine Bemerkung bez. der Größe und der Färbung der Objekte. Um das Verhalten der Schwellenwerte in der Fovea selbst und ihrer nächsten Umgebung zu prüfen, erschien es wünschenswert die Objekte noch etwas kleiner zu nehmen, als es BREUER gethan hatte. In der Regel wurde daher eine Öffnung von 3 mm benutzt, welche, auf 120 cm Entfernung gesehen, in einem Gesichtswinkel von $8,6\text{ Min.}$ erschien. Eine Ausführung der Versuche mit homogenen Lichtern, was ja im Grunde am meisten zu wünschen gewesen wäre, war mit den uns zu Gebote stehenden Hilfsmitteln nicht möglich. Immerhin erschien die Prüfung einiger farbiger Lichter bedeutungsvoller als die eines nicht genau definierten gemischten Lichtes. Es wurden daher die Versuche mit rotem, gelbem und blauem Licht ausgeführt, welche durch Einschaltung zweier Kupferoxydulgläser, einer Lösung von doppelt chromsaurem Kali resp. einer ammoniakalischen Kupferlösung erhalten wurden; keines derselben kann als wirklich rein oder homogen gelten, doch vereinigen sie überwiegend Lichtstrahlen aus einem nicht

gar zu weiten Spektralbezirk, so daß man wohl vermuten darf, daß die Resultate bei Anwendung gewisser homogener Lichter sehr ähnlich ausgefallen sein würden.

Als Ergebnis der PERTZ'schen Versuche teile ich zunächst die nachstehende Tabelle mit, welche die Verhältnisse in sehr vollständiger Weise zu übersehen gestattet. Was sie lehrt, ist in der Hauptsache Folgendes. Die Empfindlichkeit für rotes Licht in zentral am höchsten; sie sinkt im nasalen wie im temporalen Gesichtsfelde, wenn auch nicht sehr erheblich, so doch deutlich ab und ist bei 10 ° beiderseits etwa auf die Hälfte des fovealen Wertes herabgegangen. Für gelbes und blaues Licht steigt die Empfindlichkeit dagegen gegen die Peripherie hin beträcht-

Tabelle VII. (Dr. PERTZ).

	Temporale Empfindlichkeit für				Nasale Empfindlichkeit für		
	Blau	Gelb	Rot		Blau	Gelb	Rot
0 °	1	1	1	0 °	1	1	1
0,25 °	1,23	1,15	0,95	0,25 °	1,18	1,46	0,95
0,5 °	1,54	1,76	0,76	0,5 °	2,01	1,71	0,95
0,75 °	2,12	2,43	0,73	0,75 °	3,03	2,27	0,90
1,0 °	3,78	3,65	0,70	1,0 °	8,51	3,07	0,90
1,5 °	16,6	5,37	0,71	1,5 °	48,9	6,15	0,87
2,5 °	64,2	8,99	0,55	2,5 °	105,3	10,7	0,73
5,0 °	265,9	9,69	0,50	5,0 °	852,2	24,6	0,57
10 °	687,3	20,15	0,40	10,0 °	1457,0	52,6	0,51

lich an. Diese Steigerung ist erstlich für Blau noch weit größer als für Gelb, überdies für beide Lichtarten (bei gleichem Abstände von der Fovea) im nasalen Gesichtsfelde beträchtlicher als im temporalen. In graphischer Darstellung reproduziert Fig. 2 diese Zahlen, jedoch nur für Zentralabstände bis 2,5 °, weil sonst bei Wahl einer noch erkennbaren Gröfse für die foveale Empfindlichkeit die exzentrischen über das zulässige Maß hinaus wachsen würden.

Es verdient, wie mir scheint, vor allem der außerordentlich hohe Betrag der hier konstatierten Steigerungen der Empfind-

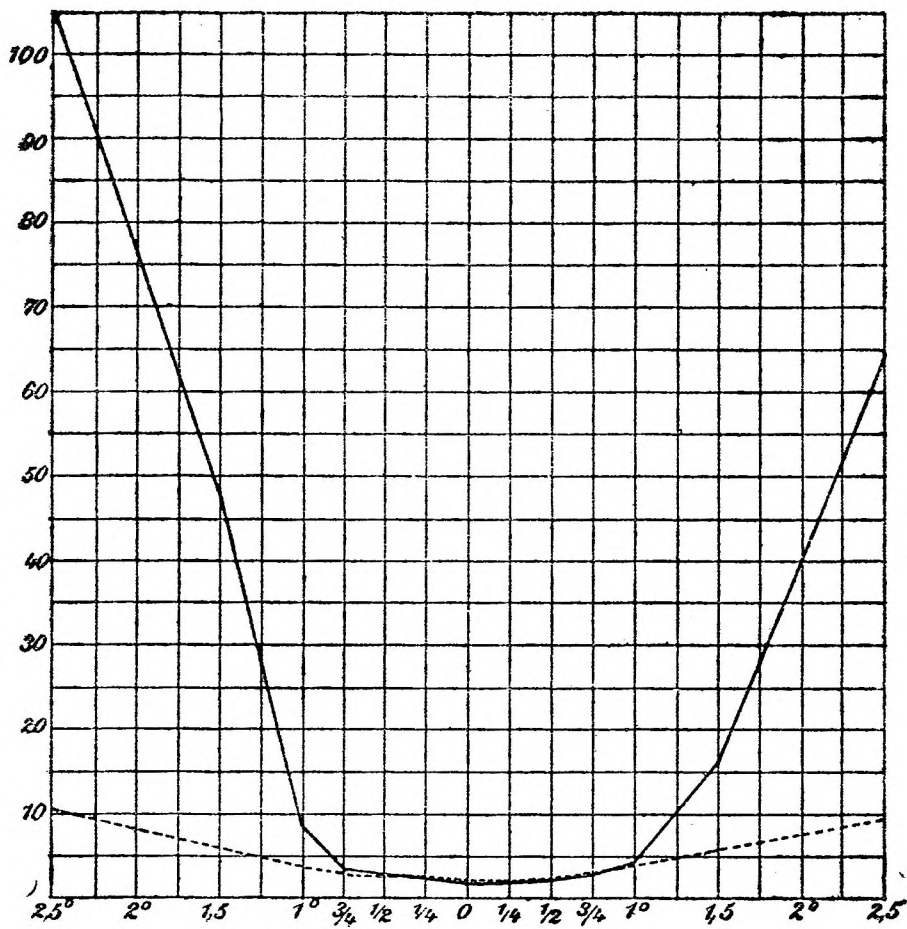


Fig. 2. Empfindlichkeit der Fovea centralis und ihrer näheren Umgebung für blaues Licht ————— und für gelbes Licht Links nasales, rechts temporales Gesichtsfeld.

lichkeit gegen die Peripherie hin hervorgehoben zu werden. Schwerlich dürfen wir dieses Resultat als ein gerade mit seinen numerischen Werten zu verallgemeinerndes ansehen. Denn schon aus gewöhnlicher Erfahrung ist bekannt, daß gerade in dieser Hinsicht große individuelle Verschiedenheiten bestehen. Manche Personen besitzen in ganz besonders hohem Maße die Fähigkeit in ganz schwachem Lichte zu sehen; sie haben, wie man wohl zu sagen pflegt, Katzenaugen; andere wieder leisten in dieser Hinsicht ganz besonders wenig, auch wenn man noch nicht von einer pathologischen Hemeralopie sprechen kann. Immerhin glaube ich, daß die Ergebnisse von Herrn P. keineswegs etwas Exzeptionelles und vom Gewöhnlichen sich weit Entfernendes sind; denn auch die Herren BREUER und NAGEL finden ja für gemischtes Licht ein ungemein erhebliches Übergewicht der peripheren Empfindlichkeit; auch von mir selbst kann ich, nach gelegentlich angestellten Kontrollversuchen, sagen, daß

jedenfalls keine sehr grofsen Unterschiede gegenüber den P.'schen Zahlen bestehen. Ich glaube daher, dafs die Hemeralopie der Fovea viel beträchtlicher ist, als man bisher angenommen hat. Und ich möchte für wahrscheinlich halten, dafs die viel zu kleinen Werte, die man für jene Unterschiede gefunden hat, einfach davon abhängen, dafs bei den Ermittlungen der zentralen Empfindlichkeiten nicht wirklich zentral, sondern, wie es BREUER genannt hat, „parazentral“ fixiert worden ist.¹

Zu diesen Versuchen ist zunächst als Ergänzung hinzuzufügen, dafs, wie für Herrn BREUER so auch für Dr. PERTZ bei noch gröfsern Exzentrizitäten die Empfindlichkeiten nur noch wenig oder gar nicht zunehmen. Im temporalen Gesichtsfelde fand sie sich ausserhalb des blinden Fleckes deutlich geringer als bei 10°; im nasalen schien sie von 10 bis 18° noch ein wenig zuzunehmen; doch gestatten die nur in geringer Zahl ausgeführten Versuche hier keine sichern numerischen Angaben.

III.

Obwohl eine erschöpfende theoretische Erklärung der mitgeteilten Thatsachen zur Zeit wohl kaum gegeben werden kann, jedenfalls hier nicht versucht werden soll, so ist doch eine gewisse Diskussion derselben so naheliegend und wohl auch interessant, dafs sie nicht umgangen werden darf. Gehen wir von der durch eine Reihe anderer Thatsachen wahrscheinlich gemachten Annahme aus, dafs die purpurhaltigen Stäbchen die Dunkelapparate des Auges sind, so wird man keine Mühe haben, sich die Erscheinungen im grofsen und ganzen verständlich zu

¹ Ich möchte glauben, dafs dieser selbe Umstand, ein Nebenfixieren anstatt eines fovealen Fixierens, häufig die Quelle von Täuschungen ist. Besondere Gründe, von denen unten noch die Rede sein wird, machen dies z. B. für die Untersuchungen von E. FICK (*Pflüger's Archiv* XLIII, S. 441, 1888) wahrscheinlich. Man kann bei diesen auch kaum von einer Unachtsamkeit der Beobachtung sprechen, da aus theoretischen Gründen kein sichtbares Fixierzeichen benutzt, vielmehr die Aufgabe gestellt war, den Blick genau in die Mitte zweier schwach sichtbarer Objekte zu richten, was, wie man jetzt wohl sagen darf, eine genügende Genauigkeit der Augenstellung nicht garantiert. Dafs auch die Beobachtungen KOSTER's (*Arch. f. Ophth.* XLI, 4, S. 1), teilweise an den gleichen Fehlerquellen leiden, ist, wie ich (ebenda XLII, 3, S. 95) auseinandergesetzt habe, einigermafsen wahrscheinlich.

machen. Von der Hemeralopie der zentralen Bezirke überhaupt gilt dies in bekannter Weise und es ist daher gerade auf diese auch bei der Entwicklung der Stäbchentheorie verschiedentlich hingewiesen worden. Aber es gilt auch weiter von den grossen Unterschieden, die sich hier für verschiedene Lichtarten bemerklich machen. Ohne weiteres versteht sich von selbst, daß für rotes Licht, das auf die Stäbchen nicht merklich wirkt, die exzentrische Empfindlichkeitssteigerung überhaupt nicht Platz greift. Etwas genauer müssen wir die Dinge betrachten, um die Unterschiede zwischen gelbem und blauem Licht verständlich zu machen, und zwar wollen wir dies sogleich an der Hand der Theorie thun.

Wir könnten alsdann erwarten, daß die Empfindlichkeit des Zapfenapparates für alle Lichter (ähnlich wie wir es für das rote Licht thatsächlich sehen) vom Zentrum gegen die Peripherie sich nur unerheblich ändern werde. In der in den Versuchen ermittelten Empfindlichkeitskurve muß dieses Verhalten jedenfalls in dem ganz stäbchenfreien Bezirk zum Ausdruck kommen. Wenn nun bei wachsendem Abstände vom Zentrum die Stäbchen erst spärlich, dann reichlicher, also mit zunehmender Leistungsfähigkeit auftreten, so wird sich dies für jedes Licht von dem Punkte an bemerklich machen müssen, wo der auf die Stäbchen ausgeübte Effekt gegenüber dem auf die Zapfen ausgeübten in Betracht zu kommen anfängt. Die hierdurch bewirkte Steigerung der Empfindlichkeit muß aber für jedes Licht um so beträchtlicher sein, je gröfser seine Stäbchenvalenz im Vergleich zu seiner Zapfenwirkung ist, also z. B. für blaues Licht viel gröfser als für gelbes. Wir können also die für blaues Licht viel gröfsere exzentrische Steigerung der Empfindlichkeit hiernach sehr wohl verstehen. Etwas anders muß sich die Sache dagegen wieder gestalten, wenn man das Verhalten weiter exzentrisch gelegner Partieen in Betracht zieht, in welchen die Leistungsfähigkeit der Stäbchen eine so hohe ist, daß bei der Ermittlung der Schwellenwerte die der Zapfen gar nicht mehr dagegen in Betracht kommt. Hier wird natürlich für die Leistungsfähigkeit des Stäbchenapparates an zwei verschiedenen Stellen sich dasselbe Verhältnis ergeben müssen, mögen wir es mit gelbem oder mit blauem Licht prüfen, da ja durchgängig ein bestimmtes Quantum gelben Lichtes einem bestimmten Quantum blauen Lichtes stäbchenäquivalent ist. Hiernach hätten wir denn eine Gestaltung der Empfindlich-

keitskurven zu erwarten, wie sie Fig. 3 und 4 zeigen. In Fig. 3, welche sich den zahlenmäßigen Darstellungen der Versuche

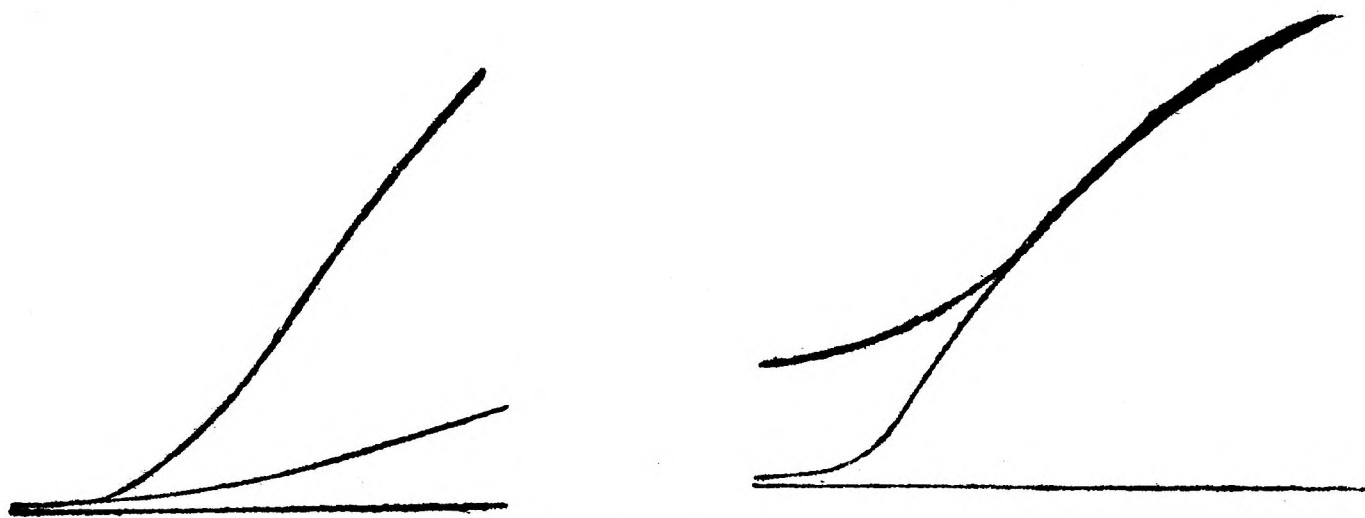


Fig. 3 und 4. Schematische Darstellung der Empfindlichkeit für gelbes und blaues Licht in stäbchenfreien und stäbchenhaltigen Netzhautteilen.

darin anschliesst, daß für beide Lichter die zentrale Empfindlichkeit als Einheit genommen ist, wäre zu beachten, daß die Endstücke beider Kurven ein proportionales Ansteigen zeigen. Deutlicher tritt dies in Fig. 4 hervor, wo bei Wahl eines andern Maßstabes die Kurven mit ihrem peripheren Teile zusammenfallen, dann aber bei Annäherung gegen das Zentrum die Empfindlichkeit für Blau viel stärker als für Gelb heruntergeht, um aber für beide in der nächsten Umgebung des Zentrums etwa konstant zu bleiben. Im großen und ganzen, wie schon gesagt, entsprechen die Erscheinungen dieser theoretischen Erwartung. Die Steigerung der Empfindlichkeit ist im ganzen für das benutzte blaue Licht etwa 30fach stärker als für gelbes; die Ungleichheit der Zunahme sehen wir sich verteilen auf das Spatium von 1 oder 1,5° bis zu einer Stelle die etwa zwischen 2,5 und 5° gelegen sein mag. Dagegen steigt von 5° auf 10° (im temporalen wie im nasalen Gesichtsfelde) die Empfindlichkeit für beide Lichtarten wieder ziemlich gleich, etwa auf das doppelte oder ein wenig mehr. Wenn aber auch darüber wohl kein Zweifel bestehen kann, daß der allgemeine Charakter der hier vorgefundenen Thatsachen in guter Übereinstimmung mit der Stäbchentheorie ist, so müssen wir anderseits doch betonen, daß es aus vielerlei Gründen unmöglich ist, die Erscheinungen bis ins Detail aus dieser Theorie zu deduzieren.

Dies gilt zunächst schon von der, wie wir sahen, etwa bis zu einem Fovealabstande von 10—15° zu verfolgenden Steigerung der

Empfindlichkeit. Man könnte vielleicht glauben, daß diese ihr anatomisches Substrat ganz einfach in der bis dahin zunehmenden Zahl der Stäbchen pro Querschnittseinheit finden müsse. Die anatomischen Untersuchungen haben uns in dieser Beziehung bis jetzt keine ganz abgeschlossenen und endgiltigen Ergebnisse geliefert. Auf eine genauere Erörterung der hierher gehörigen Ermittlungen kann aber um so eher verzichtet werden als die Erwartung irgend eines genauen Parallelismus doch keineswegs ohne weiteres als berechtigt gelten kann. Man muß vielmehr bedenken daß erstlich schon die Reichlichkeit des Sehpurpurgehalts wohl noch von mancherlei andern Momenten als der bloßen Zahl der Stäbchen abhängen wird. Ferner läßt sich auch erwarten, daß auf die hier untersuchten Schwellenwerte auch die Leitungsverhältnisse von einem gewissen Einflusse sein mögen. Wir haben nach CAJAL anzunehmen, daß zur Erregung einer Optikusfaser eine ganze Anzahl von Sehzellen zusammen wirken; es läßt sich wohl vermuten, daß eine derartige Einrichtung der Steigerung der absoluten Empfindlichkeit zu gute kommt und daß die Schwellenwerte um so niedriger werden je mehr (unter entsprechender Einbuße an räumlicher Unterscheidungsfähigkeit) eine derartige Konzentrierung oder Sammlung des Effekts statthat. Aus diesen und andern Gründen hat eine theoretische Erörterung darüber, weshalb die Schwellenwerte bis etwa 12° stark ansteigen, darüber hinaus aber nicht mehr, z. Z. kaum eine genügend feste Basis.

Das gleiche gilt auch für die speziellere Gestaltung der Dinge innerhalb des ganz stäbchenfreien Gebietes, welches auf ca. 2° Horizontaldurchmesser veranschlagt werden kann. Man könnte am ehesten vermuten, daß hier, wo es sich nur um die Empfindlichkeit des Zapfenapparats handeln kann, die Dinge sich für alle Lichtarten gleich verhalten würden oder doch nur insofern verschieden, als dafür rein physikalische Ursachen in der Abnahme des makularen Pigments ins Spiel kommen. In der That hatte ich zunächst erwartet, daß, wie die Beobachtungen mit rotem Licht zentral eine höchste, und mit Entfernung vom Fixierpunkt sogleich abnehmende Empfindlichkeit herausstellten, ähnlich auch für gelbes Licht wenigstens bis 1° Abstand die Empfindlichkeit nicht ansteigen würde, während für Blau ein geringes Zunehmen allerdings aus den Verhältnissen des makularen Pigments erklärt werden konnte. Die Beobachtungen haben

aber diese Erwartung nicht bestätigt, vielmehr herausgestellt, daß wenn auch die sehr starken Zunahmen der Empfindlichkeit bei Zentralabständen von über 1° auftreten, doch eine ganz geringe Zunahme schon bei weniger als 1° konstatiert werden kann, und zwar bei gelbem sowohl wie bei blauem Licht, nicht dagegen bei rotem. Die oben angeführte Tabelle läßt dies erkennen; ähnlich hatte auch Dr. BREUER bei Benutzung von gelben Objekten und relativ hohen Lichtstärken Verschwindungsbezirke von etwa 1° Größe gefunden. Da dies Ergebnis einigermaßen auffallend war, so habe ich mich bemüht, seine Richtigkeit möglichst sicher zu prüfen. Denkbar konnte zunächst erscheinen, daß das Zentrum der Fovea durch das Fixierzeichen selbst etwas ermüdet würde und demgemäß in seiner nahen Nachbarschaft eine etwas höhere Empfindlichkeit sich herausstellte. Da das Fixierzeichen von gelblicher Farbe war, so wäre dadurch die intrafoveale Empfindlichkeitszunahme für gelbes Licht allenfalls zu erklären gewesen. Um zu prüfen, ob sich die Sache wirklich so verhalte, veranlaßte ich Herrn Dr. PERTZ die Beobachtungen mit der Modifikation zu wiederholen, daß das Fixierzeichen durch Vorsetzung eines Kupferoxydulglases rot gefärbt wurde. Es war zu prüfen ob nunmehr etwa

Tabelle VIII.

Temporales Gesichtsfeld				Nasales Gesichtsfeld			
Feldgröße							
Abstand	Empfindlichkeit für				Empfindlichkeit für		
	Blau	Gelb	Rot		Blau	Gelb	Rot
0°	1	1	1	0°	1	1	1
0,25°	1,25	1,12	0,96	0,25°	1,11	1,30	0,92
0,5°	1,86	1,21	0,94	0,5°	1,82	1,48	0,88
0,75°	2,82	1,77	0,77	0,75°	2,96	1,82	0,83
1°	5,61	2,90	0,77	1,0°	6,99	2,55	0,80
1,5°	19,33	3,69	0,75	1,5°	30,4	3,76	0,77
2,5°	73,36	6,73	0,68	2,5°	104,9	9,11	0,72
5°	305,4	16,6	0,65	5°	767,2	40,4	0,58
10°	720,8	26,6	0,56	10°	1309	63,14	0,52

eine intrafoveale Zunahme der Empfindlichkeit für rotes Licht bemerkbar wurde, die für gelbes aber aufhörte. Die in der nachstehenden Tabelle aufgeführten Versuchsergebnisse lassen erkennen, daß dies nicht eintritt. Die Resultate sind vielmehr, so genau als dies nach Maßgabe der Sicherheit der Methode nur irgend erwartet werden kann, die gleichen wie bei Anwendung des gelblichen Fixierzeichens. Warum also jene, wenn zwar nur geringe doch deutliche Zunahme der Empfindlichkeit vom Zentrum gegen die Peripherie der Fovea bei gelbem Licht beobachtet, bei rotem vermisst wird, dafür kann z. Z. wohl keine ganz bestimmte Erklärung gegeben werden. Man hat aber auch, glaube ich, keinen Anlaß, diese Thatsache besonders überraschend oder rätselhaft zu finden, wenn man sich der verwickelten Bedingungen erinnert, unter denen doch stets die „Schwellenwerte“ stehen. Wenn es sich in allen Fällen darum handelt, den physiologischen Zustand einer (der gereizten) Netzhautstelle als von dem der (ungereizten) Umgebung verschieden zu erkennen, so kommen dabei nicht bloß die eigentlichen, vielleicht für die Sehzellen selbst schon geltenden Reizschwellen in Betracht, sondern daneben die physiologischen Dauerzustände (der Wert des Eigenlichts, wie man geradezu sagen könnte) endlich gewiß auch noch cerebrale Bedingungen bezüglich der Unterscheidung. Grade in der letzteren Beziehung können wohl so mancherlei Differenzen bestehen, die mit der Bildung des peripheren Sinnesapparates, insbesondere der Sehzellen selbst ganz außer Beziehung stehen. Thatsächlich sind auch die Unterschiede, um deren Wahrnehmung es sich bei der Bestimmung der Schwellenwerte handelt, von sehr verschiedener Art, indem z. B., wie ja bekannt, beim Rot sogleich und vorzugsweise die Farbe bemerkt wird, das Gelb (selbst foveal) zunächst als Helligkeit ohne bestimmt angebbare Farbe erscheint. Man darf nach alledem wohl sagen, daß von dem gegenwärtigen Stande unsrer theoretischen Vorstellungen eine sichere Erklärung der geringen intrafovealen Änderungen der Empfindlichkeit nicht verlangt werden kann.

Zu einem einigermaßen ähnlichen Resultat führt uns die Erörterung des letzten hier zu berührenden Punktes, der Frage nämlich, ob aus den Empfindlichkeitsverhältnissen etwa die Größe des stäbchenfreien Bezirks festgestellt werden kann. Gelänge dies, so könnte die Vergleichung mit den nach anderen

Methoden erzielten Ermittlungen und insbesondere mit den Ergebnissen der anatomischen Untersuchung von großem Interesse sein. Man sieht indessen, daß dies, wie ich es schon früher als wahrscheinlich bezeichnet habe, mit Hilfe der Schwellenwerte nicht gelingt. Wäre für gelbes Licht die Empfindlichkeit in irgend einem kleinen Bezirk wirklich konstant, so könnte man freilich daran denken, die erste Steigerung der Empfindlichkeit, die bei zunehmendem Abstand vom Zentrum gefunden wird, als Index für das erste Auftreten der Stäbchen zu betrachten. Da das aber nicht der Fall ist, so müssen wir uns darauf beschränken, darauf hinzuweisen, daß der sehr starke Anstieg der Empfindlichkeit ungefähr in der Strecke gefunden wird ($2-10^\circ$ Fovealabstand) in der wir die Netzhaut aus einer stäbchenarmen in eine stäbchenreiche Formation übergehen sehen, ohne in dieser Hinsicht noch speziellere Interpretationen zu versuchen. Um so beachtenswerter scheint es mir unter diesen Umständen, daß auf andre Weise die Beobachtungen des Herrn P. doch wieder eine Größenbestimmung des stäbchenfreien Bezirkes gestatteten. Auch bei dem hier eingehaltenen Verfahren zeigte sich nämlich, daß das blaue Licht innerhalb eines gewissen Bezirks, auch wenn sich seine Intensität an der Grenze der Sichtbarkeit befand, tiefblau erschien. Bei dem zuletzt eingehaltenen Gange der Versuche wurde ohne weiteres zugleich derjenige Zentralabstand bemerkbar, bei welchem diese Erscheinungsweise aufhörte und statt dessen die eben sichtbaren blauen Lichter farblos grau erschienen. Diese Grenze fand sich beiderseits bei etwa 1° Zentralabstand. Spezieller war das Beobachtungsergebnis das, daß wenn das Objekt auf $0,75^\circ$ eingestellt wurde, es sicher blau, wenn es auf $1,5^\circ$ eingestellt wurde, sicher grau erschien; bei 1° war die Erscheinungsweise sozusagen überaus labil, so daß bei der geringsten, trotz einer allmählich sehr großen Übung nicht zu vermeidenden Blickschwankungen, das Aussehen merklich wechselte. Wir würden danach den horizontalen Durchmesser des stäbchenfreien Bezirks wiederum auf rund 2° veranschlagen können.

Bekanntlich ist der von KÖNIG und mir gemachten Angabe, daß blaues Licht in der Fovea auch bei geringster Intensität sogleich eine Farbenempfindung hervorbringt, von KOSTER und, unter Hinweis auf ältere Versuche, von FICK widersprochen worden. Die PERTZ'schen Beobachtungen lehrten, daß für ihn

die Thatsachen durchaus mit den Angaben von KÖNIG und mir übereinstimmen, und daß sogar die Grenze des Bezirks, für den dies gilt, mit ziemlicher Sicherheit ermittelt werden kann. Es gereicht mir zu besonderer Freude, mitteilen zu dürfen, daß bei neuerer Wiederholung ähnlicher Versuche auch Dr. FICK zu dem gleichen Ergebnis gelangt ist.

Herr Dr. FICK verfuhr so, daß er die Lichtstärke eines kleinen, unter 17' Gesichtswinkel erscheinenden und annähernd reines blaues Licht ausstrahlenden Objektes allmählich steigerte; und zwar wurde ausgegangen von solchen geringen Helligkeitswerten, daß das Verschwinden des Objekts bei fovealer Fixation leicht beobachtet werden konnte. Die Vermehrung der Helligkeit geschah durch die Vergrößerung eines lichtliefernden Diaphragmas (Fensters). Über das Ergebnis schrieb mir Herr Dr. FICK (ich teile den betr. Passus aus seinem Brief mit seiner freundlichst erteilten Erlaubnis wörtlich mit):

„Wird die Fensteröffnung größer und größer (das blaue Objekt also lichtstärker; Kr.) so tritt der kritische Augenblick ein: das Scheibchen verschwindet bei fovealer Fixierung nicht mehr, sondern verwandelt sich in einen tief dunkelblauen Fleck von unbestimmter Form. Während ich ihn festzuhalten suche, schwimmt er langsam gleitend aus dem Fixierpunkt heraus und wird dadurch sofort leuchtend hellblau und scharf begrenzt. Bei absichtlich stark exzentrischer Betrachtung wird der Fleck leuchtend weiß mit Stich ins Gelbe, offenbar infolge cerebralen Kontrastes.

Ich sehe die Erscheinung also genau so, wie Sie sie beschrieben haben, und ich muß leider wohl annehmen, daß meine gegenteilige Behauptung aus dem Jahre 1888 ein Irrtum ist, der durch nicht wirklich genau foveale Fixation verschuldet wurde.“

Man wird die im obigen mitgeteilten Thatsachen auf den ersten Blick schwer vereinbar finden mit den Beobachtungen WILBRAND's über die „Erholungsausdehnung“ des Gesichtsfeldes. Nach W. besteht für das ermüdete oder „unterwertige“ Auge die höchste Empfindlichkeit im Zentrum: man erhält also bei der perimetrischen Aufnahme sehr enge Gesichtsfeldgrenzen und eine mit zunehmender Erholung (Dunkeladaptation) fortschreitende Erweiterung des Gesichtsfeldes. Indessen ist zu beachten, daß die obigen Versuche das Auge im maximal oder doch nahezu maximal adaptierten Zustande betreffen. Beobachte ich

weiße lichtschwache Objekte auf absolut schwarzem Hintergrund mit einem möglichst helladaptiertem Auge, so finde ich auch, daß ein zentral noch schwach sichtbares Objekt in mäßigen Exzentrizitäten unsichtbar wird. Wenn im Verlaufe der Adaptation eine vom Zentrum gegen die Peripherie abnehmende Empfindlichkeitsverteilung in eine entgegengesetzte übergeht, so erscheint danach die WILBRAND'sche Beobachtung einer Gesichtsfeldausdehnung ganz begreiflich. Der Gang der Dinge hängt dabei eben von einem für sich noch nicht in Betracht gezogenen Punkt ab, nämlich der Schnelligkeit des Adaptationsverlaufs an den verschiedenen Netzhautstellen.

Wichtiger aber als dieser Umstand ist die andere Tatsache, welche sich aus der Kombination beider Beobachtungsreihen entnehmen läßt, daß nämlich der Übergang von Hell- zur Dunkeladaptation die zentrale Empfindlichkeit viel weniger als die periphere steigert. Dies ist in der That in dem Maße der Fall, daß sich foveal eine Steigerung der Empfindlichkeit durch Dunkeladaptation überhaupt nicht mit Sicherheit konstatieren läßt. Selbstverständlich zwar kann es vorkommen, daß intensive Nachbilder von zentraler Lage Einem in den ersten Sekunden nach Betreten des Dunkelzimmers lichtschwache Objekte unsichtbar machen. Wenn man indessen solche vermeidet, so hat man sofort, andernfalls nach wenigen Minuten foveal die geringsten überhaupt zu erhaltenden Schwellenwerte, und von einer so allmählich fortschreitenden Empfindlichkeitssteigerung wie die exzentrischen Teile sie zeigen, ist hier nicht das geringste zu bemerken. Dies ist bereits von PARINAUD angegeben worden; die Beobachtungen der Herren BR. und P. stimmen damit durchaus überein: im Verlauf längerer Dunkeladaptation geht die foveale Empfindlichkeit stets ein wenig herunter.

Es wäre natürlich erwünscht, für die hier in Betracht kommenden Schwellenwerte Bestimmungen in feststehenden und allgemein bekannten Mäßen geben zu können, schon um die Kontrolle der gemachten Angaben bei Nachuntersuchungen zu erleichtern. Dies stößt auf keine Schwierigkeit, solange wir uns an gemischtes Licht halten von annähernd derselben Beschaffenheit wie dasjenige für welches wir eine fixierte Einheit in dem sog. Hefner-Licht besitzen. Beobachtungen in dieser Richtung sind von Herrn P. gemacht und finden sich in seiner Disser-

tation.¹ Es mag genügen hier daraus anzuführen, daß der foveale Schwellenwert für ihn gegeben war durch die Helligkeit einer Magnesium-Oxydfläche, welche von einem Hefnerlicht aus einer Entfernung von 5,51 m beleuchtet wurde, der geringste periphere bei Beleuchtung aus 46,85 m.

Da es für Nachuntersuchungen übrigens weniger auf sehr genaue Angaben ankommt, als auf solche, die einem jeden leicht eine annähernde Herstellung der in Frage kommenden Beleuchtungswerte gestatten, so füge ich hinzu, daß im hiesigen Institut mit Nutzen kleine Gasflammen verwendet werden, bei denen das Gas aus runden Öffnungen von bestimmtem Durchmesser ausströmt und der Flamme eine bestimmte Höhe gegeben wird. Bei einer Öffnung von 1 mm Durchmesser und bei 2 cm Flammenhöhe haben wir bei der Beschaffenheit des hiesigen Leuchtgases eine Lichtstärke, die, nur wenig wechselnd, sich um etwa 0,025 Hefner-Einheiten bewegt. Ein Scheibchen aus gewöhnlichem weißem Papier, von einer solchen Flamme aus ca. 80—90 cm Abstand beleuchtet, wird sich bei einer GröÙe von $\frac{1}{3}$ — $\frac{1}{4}$ ° etwa an der Grenze fovealer Sichtbarkeit befinden. Das Übergewicht der peripheren Empfindlichkeit über die zentrale für solches stark gelbliches Licht ist bedeutender als für das oben erwähnte annähernd homogene gelb, aber noch viel geringer als für rein weißes oder gar blaues. Eine absolute Bestimmung der Schwellenwerte für farbige Lichter gelingt leider vorläufig nicht, da wir noch keine fixierten Maßeinheiten für farbige, insbesondere für annähernd homogene Lichter besitzen. Schließlich muß noch bemerkt werden, daß die obigen Angaben sich auf Objekte ganz bestimmter GröÙe bezogen. Vermutlich werden zentrale und periphere Schwellenwerte in wesentlich verschiedener Weise von der Ausdehnung des Objekts abhängen; und alsdann muß auch bei Benutzung anderer ObjektgröÙen der Schwellenwert sich als eine andere Funktion des Zentralabstandes darstellen, als sie hier gefunden wurde. Eine Kenntnis dieser spezielleren Verhältnisse wird erst durch weitere Untersuchungen gewonnen werden können.

¹ A. PERTZ, Photometrische Untersuchungen über die Schwellenwerte der Lichtreize. Dissert. Freiburg 1896.