

(Aus der physikalischen Abteilung des physiologischen Instituts  
der Universität zu Berlin.)

## Über die Abhängigkeit des Reizwertes leuchtender Objekte von ihrer Flächen- bzw. Winkelgröße.

(Fortsetzung der Untersuchungen über Dunkeladaptation des Sehorgans.)

Von  
Dr. med. H. PIPER.

### Einleitung.

Anschließend an meine Untersuchungen über Dunkeladaptation<sup>1</sup> und dieselben ergänzend, möchte ich im folgenden über einige Versuchsreihen berichten, durch die ich festzustellen suchte, ob und in welchem Maße die Werte der Schwellenlichtreize des Auges durch Änderung der Flächen- bzw. Winkelgröße des lichtaussendenden Objekts beeinflusst werden. Insbesondere schien es mir von Interesse, zu untersuchen, ob sich dieser Faktor bezüglich der Schwellen einerseits des hell- und andererseits des dunkeladaptierten Auges etwa in verschiedenem Umfange geltend macht.

Daß die Größe des Objektes für dessen Sichtbarkeit von erheblicher Bedeutung ist, derart, daß bei gleicher Intensität des ausgestrahlten Lichtes kleinere Objekte unterschwellig bleiben, größere dagegen wohl wahrnehmbar sind, ist seit langem bekannt. Schon FÖRSTER<sup>2</sup> stellte über diese Frage eingehende Versuche an und äußert sich über die Ergebnisse folgendermaßen: „Gesichtswinkel und Helligkeit sind gleichsam die beiden

<sup>1</sup> *Diese Zeitschrift* 31, S. 161—214.

<sup>2</sup> FÖRSTER: Über Hemeralopie und die Anwendung eines Photometers im Gebiete der Ophthalmologie. Breslau 1857.

Faktoren, aus denen die Schärfe der Eindrücke, welche wir durch unser Auge empfangen, resultiert. Je kleiner der eine ist, desto größer muß der andere sein, wenn noch eine Wahrnehmung zu stande kommen soll — sie ergänzen sich gegenseitig.“

AUBERT<sup>1</sup> bestätigte die Richtigkeit der FÖRSTERSchen Feststellungen und faßte dessen Satz präziser, indem er zeigte, daß die Sichtbarkeit eines Objektes, d. h. die Wahrnehmbarkeit eines Lichteindruckes, abhängig ist 1. von der absoluten Helligkeit, 2. von dem Helligkeitsunterschiede oder dem Kontraste, 3. von dem Gesichtswinkel oder der GröÙe des Netzhautbildes. Wie schon aus der Betonung des Kontrastes hervorgeht, war bei den Messungen AUBERTS in erster Linie die Unterschiedsempfindlichkeit des Auges, nicht so sehr die Empfindlichkeit für minimale Lichtreize Gegenstand der Untersuchung.

In ähnlicher Weise fanden OLE BULL<sup>2</sup>, DONDERS<sup>3</sup>, FICK<sup>4</sup> und GUILLERY<sup>5</sup>, daß beim Aufsuchen der Farbenschwellen oder bestimmter Sättigungsgrade von Farben die Lichtintensität und der Sehwinkel sich als zueinander in bestimmter Beziehung stehende GröÙen erweisen, derart, daß bei Verringerung der einen die andere stets vergrößert werden muß, wenn die gleiche Lichtempfindung sich einstellen soll.

RICCÒ<sup>6</sup> gab dann dem Verhältnis, in welchem WinkelgröÙe und Schwellenhelligkeit des Objektes stehen, die mathematische Formulierung: das Produkt von FlächengröÙe des Netzhautbildes und Lichtintensität ist eine konstante GröÙe, oder auf den Sehwinkel bezogen, das Produkt von WinkelgröÙe und Quadratwurzel der Lichtintensität ist konstant. Für dieses Gesetz beansprucht Riccò nur Gültigkeit, solange es sich um FlächengröÙen handelt, deren Netzhautbilder die Fovea centralis nicht überschreiten, und diese Beschränkung

---

<sup>1</sup> AUBERT: Physiologie der Netzhaut. Breslau 1865.

<sup>2</sup> OLE BULL: Studien über Lichtsinn und Farbensinn. *Graefes Arch.* 27.

<sup>3</sup> DONDERS: Über Farbensysteme. *Archiv für Ophthalmologie* 33.

<sup>4</sup> E. A. FICK: Studien über Licht- und Farbenempfindung. *Pflügers Archiv* 43. 1888.

<sup>5</sup> GUILLERY: Über die räumlichen Beziehungen des Licht- und Farbensinnes. *Archiv für Augenheilkunde* 31.

<sup>6</sup> RICCÒ: Relazione fra il minimo angolo visuale e l'intensità luminosa. *Annali d'Ottalmologia*, VI. Jahrg., 3.

trifft auch für die Versuche und Ergebnisse der anderen bisher erwähnten Autoren (außer AUBERT) zu.

Beschäftigen sich diese Untersuchungen also mit der Frage, ob die Zapfen der Netzhautgrube sich bei der Helligkeits- und Farbenwahrnehmung gegenseitig im Sinne der Reizsummation unterstützen, so eröffnet sich jetzt naturgemäß die Frage, wie sich in dieser Beziehung die Netzhautperipherie verhält. Mir sind keine Untersuchungen bekannt, durch welche die peripheren Teile der Retina für sich, also mit Ausschluss der Fovea in der bezeichneten Richtung geprüft wurden; vielmehr gingen die beiden Autoren, welche hier in Betracht kommen, AUBERT<sup>1</sup> und CHARPENTIER<sup>2</sup> von foveal abgebildeten Objekten allmählich zu solchen über, deren Bilder mehr und mehr über das Gebiet der Fovea hinausgriffen. Nach AUBERT scheint auch bei solch größeren Netzhautbildern die Wahrnehmbarkeit im gleichen Sinne, wenn auch nicht in gleichem Maße wie bei foveal abgebildeten Gegenständen von der Winkelgröße abzuhängen.

CHARPENTIER dagegen konnte ein solches Verhältnis nicht finden; noch in einer unlängst erschienenen Arbeit spricht er sich darüber folgendermaßen aus: „Dans des conditions comparables d'adaptation le minimum perceptible varie suivant l'étendue rétinienne excitée à peu près en raison inverse de la surface tant que celle-ci ne dépasse pas l'étendue de la fovea centralis; pour les étendues plus grandes l'influence de l'étendue est négligeable.“

Bei der Ungleichartigkeit des anatomischen Baues und der physiologischen Funktionen von Netzhautzentrum und Peripherie hat es seine großen Schwierigkeiten, die Bedeutung der Versuchsergebnisse richtig zu ermessen, wenn das Verhalten der peripheren Netzhautteile zusammen und vermengt mit dem der Fovea studiert wird. Geeigneter dürfte es zweifellos sein so vorzugehen, daß man die Netzhautperipherie ebenso gesondert untersucht, wie man es mit der Fovea getan hat. Ist dann für die Peripherie eine Abhängigkeit der Schwellenwerte von der Winkelgröße des Objektes gefunden, so ergibt sich von selbst die zweite Frage, ob sich dieser Faktor hinsichtlich der Reiz-

---

<sup>1</sup> AUBERT: Physiologie der Netzhaut. Breslau 1865.

<sup>2</sup> CHARPENTIER: Sur les phénomènes rétinienes. *Rapport présenté au Congrès international de Physique réuni à Paris en 1900.*



schwellen des hell- und des dunkeladaptierten Auges in gleichem oder typisch und auffallend verschiedenem Maße geltend macht. Bezüglich dieses letzten Punktes liegt eine einschlägige Angabe TREITELS<sup>1</sup> vor. Er fand (S. 81) „die höchst auffallende Tatsache, daß die Adaptationsgröße unter sonst gleichen Verhältnissen mit der Größe des Gesichtswinkels wächst“ und äußert sich weiterhin eingehender über die Bedeutung dieses Befundes: „Sehr interessant scheint mir die Eigenschaft des Auges zu sein, derzufolge die Adaptationsgröße mit dem Gesichtswinkel zunimmt. Man darf diese Erscheinung nicht damit verwechseln, daß der Licht-, Farben- und Raumsinn sich bei unvollkommener Adaptation um so feiner darstellt, je größer das Untersuchungsobjekt ist. Daß in dieser Hinsicht ein unvollkommen adaptiertes Auge nicht ein anderes Verhalten als ein adaptiertes zeigen würde, war von vornherein anzunehmen. Man hätte aber erwarten sollen, daß die Adaptationsgröße bei verschieden großen Gesichtswinkeln nicht variiert.“

Ist es richtig, daß die Adaptationsgröße unter sonst gleichbleibenden Verhältnissen bei ausschließlicher Änderung der Winkelgröße des Reizobjektes einen anderen Wert annimmt, so bedeutet das, daß die Schwellenintensitäten des hell- und des dunkeladaptierten Auges in verschiedenem Maße durch die eingeführte Variable beeinflusst werden. Denn würden beide Werte in gleicher Proportion durch Variierung der Winkelgröße verändert, so müßte auch der Quotient der Hell- und Dunkelschwelle, d. i. die Adaptationsgröße gleich bleiben.

Von einer auf diese Frage gerichteten Untersuchung dürfte man wohl erwarten, daß die Resultate einiges Licht auf gewisse funktionelle Unterschiede zwischen Hell- und Dunkelapparat des Sehorganes werfen würden. Wenn man bedenkt, daß es in hohem Grade wahrscheinlich geworden ist, daß bei beiden verschiedenen Zuständen des Auges auch zweierlei verschiedene anatomische Gebilde in der Funktion der Perzeption geeigneter Lichteindrücke und Auslösung von Gesichtsempfindungen einander ablösen, nämlich im einen Fall die Zapfen, im anderen die Stäbchen, so würde es nicht wunderbar erscheinen, wenn sich

---

<sup>1</sup> TREITEL: Über das Verhalten der normalen Adaptation. *Gräfes Archiv*. 1887.



diese Gebilde auch hinsichtlich des Mechanismus voneinander unterscheiden, welcher die gegenseitige Unterstützung benachbarter Elemente im Sinne der Reizaddition vermittelt. Über das Prinzip eines solchen Unterschiedes Aufschluß zu bringen, bezwecken die im folgenden mitzuteilenden Untersuchungen.

### Methodik.

Bei den Schwellenmessungen wurde derselbe Apparat benutzt, welcher für meine früheren Untersuchungen über Dunkeladaptation Verwendung fand und dessen eingehende Beschreibung ich bei Veröffentlichung<sup>1</sup> meiner damaligen Resultate bereits gegeben habe. Ich darf also in dieser Beziehung auf das dort Gesagte verweisen. Nur in einem Punkte muß ich meine früheren Angaben vervollständigen und berichtigen. Ich führte aus, daß in einem Apparat von der Beschaffenheit einer Camera obscura die Linse das Bild einer leuchtenden Kartonfläche auf eine Milchglasscheibe entwarf, welche die rückwärtige Wand der Camera bildete, daß dieses Bild Form und GröÙe eines Quadrates von 10 cm Seite hatte und hinsichtlich seiner Helligkeit ausgiebig durch eine unmittelbar vor der Linse angebrachte graduierte Irisblende meßbar variiert werden konnte und daß dasselbe, durch die Milchscheibe durchscheinend und von rückwärts her von der Versuchsperson betrachtet, den Lichtreiz bildete, an welchem die Empfindlichkeit des Auges gemessen wurde. Ich muß mich hier dahin korrigieren, daß das Bild des leuchtenden Kartons etwas größer als früher angegeben, nämlich als Quadrat von etwa 12 cm Seite auf die Scheibe der Camera entworfen wurde und daß durch ein der rückwärtigen Fläche der Scheibe angelegtes Diaphragma ein Quadrat von 10 cm Seite aus jenem Bild herausgeschnitten wurde. Diese Anordnung brachte den Vorteil mit sich, daß die leuchtende Fläche, welche als Versuchsreiz diente, sich scharf umgrenzt von einer absolut dunklen Umgebung abhob. Ohne Vorschaltung des Diaphragmas wären die Ränder des Bildes nie scharf gewesen, denn auch bei tadelloser Einstellung der Camera, wenn das Bild also scharf-randig auf die Vorderfläche der Milchscheibe entworfen ist, erscheint es, durch die Milchscheibe durchscheinend und von rückwärts her betrachtet, unscharf, da die Lichtstrahlen auf ihrem

---

<sup>1</sup> H. PIPER: Über Dunkeladaptation. *Diese Zeitschrift* 31, S. 168 u. f. 1903.

Wege durch die Scheibe erheblich abgelenkt und zerstreut werden; auch würde bei Fortlassung des Diaphragmas die als Reizobjekt dienende leuchtende Fläche nicht günstig aus einer absolut dunklen Umgebung hervorgetreten sein, da diese dann ja von der Milchscheibe selbst gebildet wäre, welche, von unregelmäßig gebrochenen und zerstreuten Strahlen von vorn getroffen, grau, nicht aber schwarz erschienen wäre. Ich hielt es für zweckmäßig und nicht unwesentlich, dieses hier nachzutragen, da ich glaube, daß durch diese meine frühere Beschreibung vervollständigende Angabe dem einen oder anderen Einwand gegen die Brauchbarkeit meiner damaligen Resultate die Spitze von vornherein abgebrochen ist.

Um nun Reizobjekte verschiedener Flächen- bzw. Winkelgröße zu erhalten, wurden derjenigen Fläche der Milchglas-scheibe, welche der Linse der Camera abgekehrt, dem Beobachter aber zugewandt war, Kartonrahmen von verschieden weiter Öffnung angelegt. Dadurch wurden aus dem leuchtenden Areal der Scheibe Flächenstücke von verschiedener Größe herausgeschnitten, welche dann sämtlich von der Versuchsperson aus konstantem Abstand (30 cm) zu beobachten waren. Bei den Versuchen kamen derartig hergestellte Lichtreize von viererlei verschiedenen Flächen- bzw. Winkelgrößen, sämtlich von der Form eines Quadrates zur Verwendung, deren Maße die folgende Tabelle angibt.

Tabelle I.

	Seite des Quadrates in cm	Flächengröße in qcm	Winkelgröße in der Diagonalen, aus 30 cm Abstand beobachtet	Verhältnis der linearen Winkelgrößen
I	10	100	26°	10
II	5	25	13°	5
III	3,15	10	8° 20'	3,15
IV	1	1	2° 45'	1

Die Reizobjekte wurden bei allen Versuchen mit ziemlich weit peripheren Netzhautteilen beobachtet: der innere Rand des Netzhautbildes lag mindestens 20—25° von der Fovea ab. Bei einigen Messungsreihen war die Blickrichtung durch ein seitlich angebrachtes Fixierzeichen festgelegt, bei anderen wurde von der Verwendung eines solchen Abstand genommen und der

Versuchsperson nur aufgegeben, nach Möglichkeit dieselbe Blickrichtung innezuhalten, so daß stets ungefähr die gleichen Partien der Netzhautperipherie von den verschieden großen Lichtreizen betroffen wurden. Die mit und ohne Fixierzeichen erzielten Resultate differieren so gut wie gar nicht voneinander; man konnte sich auch wohl von vornherein denken, daß bei den hier gegebenen Versuchsbedingungen die ganz strikte Innehaltung der Blickrichtung durch Fixierung eines Lichtpunktes keinen allzugroßen Wert haben würde, denn innerhalb des ausgedehnten Netzhautareals, welches vom Bild des größten Reizobjektes eingenommen wird, können die Bilder der kleineren Lichtflächen einen beliebigen Ort einnehmen, ohne daß dadurch die Vergleichbarkeit der Messungen untereinander beeinträchtigt wird.

### Versuche.

#### 1. Schwellenmessungen am dunkeladaptierten Auge.

In der folgenden Tabelle sind zunächst die Messungsergebnisse verzeichnet, welche bei Beobachtung der verschieden großen Reizobjekte mit hochgradig dunkeladaptiertem Auge erhalten wurden. Da nach meinen früheren Untersuchungen die Netzhaut nach  $\frac{1}{2}$ — $\frac{3}{4}$  stündlichem Dunkelaufenthalt einen ziemlich konstant bleibenden Zustand maximaler Empfindlichkeit erreicht hat, sind die unter diesen Bedingungen gefundenen Lichtschwellenwerte ohne weiteres quantitativ miteinander vergleichbar, und dieser Vorzug ist der Grund, weshalb ich hier die bei Dunkeladaptation erzielten Resultate vor den am helladaptierten Auge gewonnenen anführe, bei welcher letzterem ja für zwei aufeinander folgende Schwellenmessungen im allgemeinen derselbe Empfindlichkeitszustand nicht vorausgesetzt werden darf.

Im ersten Stabe der Tabelle sind die Verhältniszahlen der Flächengrößen, im zweiten die Quadratwurzeln derselben, resp. die Verhältniszahlen der linearen Winkelgrößen der verwendeten vier Reizobjekte eingetragen. Im dritten Stabe sind die Lichtintensitäten verzeichnet, welche als Schwellenwerte bei maximaler Dunkeladaptation für die betreffende leuchtende Fläche gefunden wurden; sie sind als Mittel aus je 6 Einzelbeobachtungen berechnet. Der Schwellenwert des kleinsten Quadrates (1 cm Seite) ist gleich 10 gesetzt. Im vierten Stabe sind dann die Reizwerte der verschieden großen leuchtenden Flächen angegeben, welche



als reziproke Werte der Schwellenintensitäten (multipliziert mit 10) berechnet sind; dabei bildet dann der Reizwert des kleinsten Quadrates die Maßeinheit. Die Berechnungen der Schwellen- und Reizwerte (Stab III und IV) sind entsprechend einer Auswahl aus den oft wiederholten Versuchsreihen, mehrfach in die Tabelle aufgenommen.

Tabelle II.  
Beobachter PIPER.

I Flächen- größe	II $\sqrt{\text{Flächengröße}}$ resp. Winkelgröße	1		2	
		III Schwellen- wert	IV Reiz- wert	III Schwellen- wert	IV Reiz- wert
1	1	10	1	10	1
10	3,15	2,94	3,4	3,03	3,3
25	5	1,96	5,1	2,08	4,8
100	10	1,02	9,8	1,15	8,7

Beobachter Hr. BLECKWENN.

I Flächen- größe	II $\sqrt{\text{Flächengröße}}$ resp. Winkelgröße	1		2	
		III Schwellen- wert	IV Reiz- wert	III Schwellen- wert	IV Reiz- wert
1	1	10	1	10	1
10	3,15	3,125	3,2	2,86	3,5
25	5	2,13	4,7	1,92	5,2
100	10	1,03	9,7	1,12	8,9

Benutzt man, wie hier geschehen, den Lichtschwellenwert als Indikator des Reizwertes eines Objektes für das Auge, so ergibt sich aus den tabellarisch angeführten Messungen, daß dieser Reizwert für die Peripherie der dunkel-adaptierten Retina abhängig ist von der Größe des leuchtenden Objektes bzw. seines Netzhautbildes, derart, daß größere Objekte niedrigere Schwellenwerte also höhere Reizwerte haben als kleine, daß größere Objekte also bei Lichtintensitäten noch wahrgenommen werden können, welche für kleinere unterschwellig sind. CHARPENTIER'S Satz, daß die Sichtbarkeit von Objekten, deren Bilder ausgedehntere Partien der Netzhautperipherie einnehmen, nur abhängig sei von

der ausgestrahlten Lichtintensität, nicht aber von der Winkelgröße, ist nach diesen Ergebnissen jedenfalls unter den Bedingungen der Dunkeladaptation unzutreffend.

Wenn es sich nun darum handelt, aus den gefundenen Zahlen eine Formel abzuleiten, welche die quantitativen Verhältnisse der Abhängigkeit des Reizwertes eines Objektes von seiner Größe annähernd richtig in mathematischer Ausdrucksweise wiedergibt, so lehrt der Vergleich der in Stab II und IV der Tabelle verzeichneten Werte, daß der Reizwert eines Objektes für die dunkeladaptierte Netzhautperipherie proportional der Quadratwurzel der Flächengröße des Netzhautbildes anwächst oder daß das Produkt des Lichtschwellenwertes mit der Wurzel der Flächengröße des Netzhautbildes bezüglich der Wahrnehmbarkeit des Objektes eine konstante Größe ist.

Da bei den bisher besprochenen Versuchen leuchtende Flächen von quadratischer Form als Reizobjekte dienten, bei diesen aber die Verhältniszahlen der Wurzeln der Flächengrößen und die der Winkelgrößen identisch sind, so konnte man im Zweifel darüber bleiben, ob die oben abgeleitete Regel, in welche die Wurzel der Flächengröße als maßgebende Größe aufgenommen ist, richtig formuliert ist, oder ob nicht vielmehr der Reizwert proportional der linearen Winkelgröße des Objektes anwächst. Wenn auch die letztere Annahme von vornherein wenig Wahrscheinlichkeit für sich hat, so erschien es doch wünschenswert, durch besondere Versuche die Richtigkeit des oben eingesetzten Ausdruckes eindeutig zu beweisen und die lineare Winkelgröße als ausschlaggebenden Faktor auszuschließen.

Zu diesem Zwecke wurde ein Diaphragma vor die Milchscheibe der Camera gesetzt, welches aus dem großen Quadrat von 10 cm Seite einen langen in der Diagonale gelegenen Streifen herauschnitt; die lineare Winkelgröße dieses Reizobjektes war jetzt dieselbe, wie die maximale Winkelgröße des Quadrates, nämlich bei 30 cm Abstand des Auges  $= 26^\circ$ , die Flächengröße aber war ganz erheblich geringer. Wie zu erwarten, erwies sich der Reizwert des Streifens erheblich kleiner als der des großen Quadrates und die Rechnung ergab, daß derselbe, verglichen mit den Reizwerten der anderen Versuchsobjekte, in der

Proportion zur Wurzel der Flächengröße stand, welche die oben ausgesprochene Regel verlangt.

Bei anderen Versuchen dienten 10 schachbrettartig angeordnet Einzelquadrate von je 1 cm Seite als Versuchsreiz. Die Summe der Flächengrößen dieser Quadrate war gleich der Flächengröße des früher verwendeten Quadrates von 3,15 cm Seite und es zeigte sich, daß auch die Reizwerte dieser beiden Versuchsobjekte gleich waren. Auch dieses Experiment schließt also die lineare Winkelgröße als maßgebenden Faktor ebenso vollständig aus, wie es die oben angegebene Regel, daß der Reizwert eines Objektes für die dunkeladaptierte Netzhautperipherie proportional der Wurzel seiner Flächengröße zu- resp. abnimmt, als richtig beweist.

Vergleicht man jetzt diesen Satz mit dem Inhalt der Regel, welche, wie einleitend erwähnt, von Riccò für foveal abgebildete Objecte aufgestellt ist, so ergibt sich, daß die Sichtbarkeit zentral beobachteter Gegenstände in weit höherem Maße von der Flächengröße abhängt, als es bei peripher und mit dunkeladaptiertem Auge beobachtetem Lichtreize der Fall ist. Bei foveal gesehenen Objekten wächst nach Riccò der Reizwert, gemessen an der Schwellenlichtintensität, proportional der Flächengröße, bei peripher abgebildeten dagegen mit der Wurzel der Flächengröße (bei Dunkeladaptation). Bezeichnet man die Flächengröße mit  $F$ , die zugehörige Schwellenintensität des Lichtes mit  $L$ , so lautet der Satz Riccòs:

$$L \cdot F = \text{const.},$$

der hier abgeleitete dagegen

$$L \cdot \sqrt{F} = \text{const.}$$

Ich will hier indessen nicht unterlassen zu bemerken, daß mir eine Nachuntersuchung der Riccòschen Angaben wünschenswert erscheint, denn die letzten Jahre haben eine ganze Anzahl von neuen Resultaten über die Physiologie, speziell über die Größe der Fovea gezeitigt, welche bei Versuchen über die Abhängigkeit der Intensität der Helligkeitsempfindung von der Flächengröße der fovealen Netzhautbilder berücksichtigt werden müssen.

## 2. Schwellenmessungen am helladaptierten Auge.

Es wäre jetzt wünschenswert, daß in derselben Weise, wie für die dunkeladaptierte auch für die helladaptierte Netzhaut-



peripherie festgestellt würde, wie sich die Lichtschwellenwerte bei Beobachtung verschieden großer Reizobjekte zueinander verhalten und womöglich wiederum einen annähernd richtigen mathematischen Ausdruck für die Beziehung zu finden, welche bezüglich der Wahrnehmbarkeit zwischen Größe und Lichtintensität des Objektes besteht.

Der Erreichung dieses Ziels stellt sich hier jedoch eine unüberwindliche Schwierigkeit entgegen: sollen nämlich die für verschieden große Reizobjekte gefundenen Schwellenwerte quantitativ untereinander vergleichbar sein, so ist dafür Voraussetzung, daß die sämtlichen Bestimmungen bei unverändertem Empfindlichkeitszustand der Netzhaut vorgenommen worden sind. Dieser Forderung vollständig gerecht zu werden, ist aber bei helladaptiertem Auge nicht möglich, denn in der Zeit, welche zwischen den einzelnen, natürlich im Dunkeln vorgenommenen Schwellenmessungen verstreicht, hat sich der Empfindlichkeitszustand der Retina jedesmal nicht unbeträchtlich im Sinne der Dunkeladaptation verändert.

Um nun doch zu einem annähernd richtigen Urteil über den Einfluß der Größe des Objekts auf die Schwellenwerte der helladaptierten Netzhautperipherie zu kommen, bin ich folgendermaßen verfahren: zunächst habe ich mich darauf beschränkt die Schwellenmessungen nur bei Verwendung der beiden Extreme der früher verwendeten Objektgrößen, nämlich der Quadrate von 1 und von 10 cm Seite, anzustellen. Diese beiden Bestimmungen wurden dann möglichst schnell nacheinander ohne Zeitverlust ausgeführt und paarweise 20 mal wiederholt, wobei die Zwischenzeiten zur Zurückführung des Auges in guten Helladaptationszustand benutzt wurden. Stets wurde die Schwellenbestimmung für das kleine Quadrat vor der des großen gemacht, so daß der Unterschied zwischen beiden Werten durch die inzwischen vorgeschrittene Adaptation sich größer darstellt, als er bei konstantem Empfindlichkeitszustand gefunden worden wäre. Wären die beiden Bestimmungen in umgekehrter Reihenfolge vorgenommen worden, so wäre natürlich die Differenz der Schwellenwerte unter dem Einfluß der inzwischen eingetretenen Empfindlichkeitszunahme verringert, wenn nicht ganz verwischt worden.

Trotzdem nun, wie gesagt, der Fehler der Versuchsmethodik sich sicherlich in dem Sinne geltend macht, daß die Differenz

der Reizwerte beider um das 100fache der Größe nach verschiedenen Objekte sich in den Messungsergebnissen als noch zu groß darstellt, zeigt sie doch im Vergleich zu den bei Dunkeladaptation gewonnenen Feststellungen einen ganz auffallend geringen Wert. Der Reizwert des großen Quadrates übertrifft den des kleinen nach den Messungen durchschnittlich um das 2 bis 2,5fache (im Maximum um das 3,3, im Minimum um das 1,3 und 1,6fache). Wie hoch nun dabei der Einfluß des Zeitverlustes zwischen je zwei Schwellenbestimmungen zu veranschlagen ist, ist schwer zu sagen. Jedenfalls steht kaum etwas der Annahme im Wege, daß die ganze, zwischen beiden Reizwerten gefundene Differenz auf Wirkung dieses Faktors zurückzuführen ist und daß demnach der Einfluß der Größe des Objekts auf seinen Reizwert für die helladaptierte Netzhautperipherie als minimal betrachtet oder  $= 0$  gesetzt wird.

In dieser Eigenschaft unterscheidet sich also die helladaptierte Netzhautperipherie sehr wesentlich von der dunkeladaptierten, bei welcher wir einen gar nicht unerheblichen Einfluß der Größe des Objekts auf die Sichtbarkeit feststellen konnten. Zugleich bestätigen die Versuchsergebnisse die oben zitierte Angabe TREITELS vollständig, daß die Adaptationsbreite, d. i. der Quotient der Schwellenwerte des hell- und des dunkeladaptierten Auges, unter sonst gleich bleibenden Verhältnissen einen geringeren Wert annimmt, wenn das Reizobjekt, an dem die Messungen vorgenommen werden, kleiner wird: Der Dividend (Schwelle des Hellauges) behält bei Wechsel der Objektgröße ungefähr seinen Wert, der Divisor aber verändert ihn umgekehrt proportional der Wurzel der Flächengröße des Objektes.

### 3. Darstellung des zeitlichen Adaptationsverlaufes bei Messung der Schwellen an Reizobjekten verschiedener Flächengröße.

Sehr klar kommen die bisher besprochenen Dinge zur Anschauung, wenn man den zeitlichen Verlauf der Adaptation, gemessen an den verschieden großen Reizobjekten, kurvenmäÙig darstellt; über den Adaptationsverlauf gewinnt man, wie ich in meiner schon öfter erwähnten Untersuchung über Dunkeladaptation gezeigt habe, am besten eine befriedigende Vorstellung,

wenn man die reziproken Werte der Schwellenintensitäten, das sind die Empfindlichkeitswerte der Retina, resp. die jeweiligen Reizwerte der Objekte, als Funktion der Zeit in ein System rechtwinkliger Koordinaten einträgt. Die Schwellenintensitäten, an Objekten verschiedener Flächengröße gemessen, haben aber Werte, welche mit zunehmender Dunkeladaptation mehr und mehr voneinander differieren, und so demonstrieren die Kurven, d. h. die Differenzen ihrer Ordinatenhöhen an den einzelnen Punkten der Abzissenachse, unmittelbar die Tatsache, daß die Empfindlichkeit der Netzhaut für Objekte beträchtliche Flächengröße mit zunehmender Dunkeladaptation ganz erheblich, für kleine dagegen sehr viel weniger ansteigt.

Zur Illustration dieser Verhältnisse sollen die in beifolgender Figur reproduzierten Kurven dienen. Denselben lagen die in Tabelle 3 verzeichneten Messungen zu Grunde: es wurden, nachdem die Versuchsperson zuvor ihre Augen in einen Zustand guter Helladaptation gebracht hatte, bei Dunkelaufenthalt von Zeit zu Zeit je vier Schwellenbestimmungen vorgenommen, für deren jede ein anderes der oben beschriebenen vier Diaphragmen vor die Scheibe der Camera gesetzt wurde. Die jeweilige Empfindlichkeit der Netzhaut für die betreffende leuchtende Fläche wurde durch Berechnung des reziproken Wertes der Schwelle bestimmt. Diese Zahl, als Reizwert des Objektes oder Empfind-

Tabelle III.

I	II <sub>1</sub>	I	II <sub>2</sub>	I	II <sub>3</sub>	I	II <sub>4</sub>
Zeit des Dunkel- aufenthaltes (Min.)	Empfindlichkeits- wert der Retina oder Reizwert des Objektes	Zeit des Dunkel- aufenthaltes (Min.)	Empfindlichkeits- wert der Retina oder Reizwert des Objektes	Zeit des Dunkel- aufenthaltes (Min.)	Empfindlichkeits- wert der Retina oder Reizwert des Objektes	Zeit des Dunkel- aufenthaltes (Min.)	Empfindlichkeits- wert der Retina oder Reizwert des Objektes
3	17,8	2	17,8	1½	15,9	0	17,0
5	77,8	7½	820,44	7	820,44	6	675,53
11½	1 171,8	15	5 456,7	13	7 694,7	10	4 467,0
20	2 914,0	27	12 346	24	21 626	22	30 779
31	4 890,2	32	14 516	34	24 414	32½	56 689
43	5 621,4	48½	16 025	47	28 728	38½	62 500
64	5 621,4	62	16 025	58½	28 728	45	62 500
						57	62 500



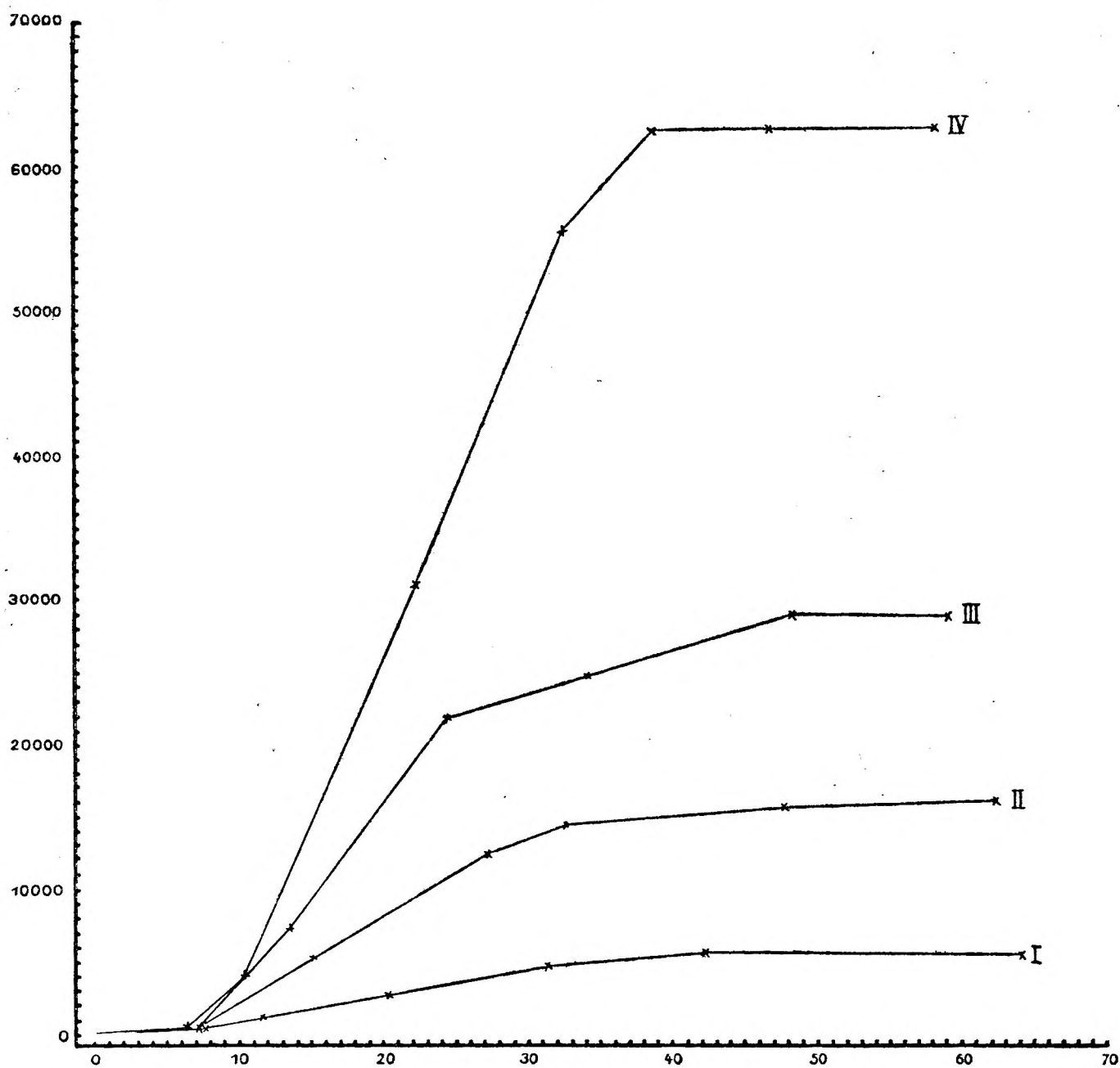


Fig. 1.

Erklärung: Ansteigen der Netzhautempfindlichkeit bei Dunkelaufenthalt, gemessen an Reizobjekten verschiedener Flächengröße: I = 1 qcm, II = 10 qcm, III = 25 qcm, IV = 100 qcm.

lichkeitswert der Retina für das Objekt bezeichnet, hat in der Tabelle in den Stäben II<sub>1-4</sub> Aufnahme gefunden. Bezüglich der Einzelheiten der Methodik und der Berechnung muß ich hier auf die Ausführungen meiner früheren Arbeit über Dunkeladaptation verweisen.

### Schluss.

Man kann die tatsächlichen Ergebnisse dieser Untersuchung dahin zusammenfassen, daß der Reizwert eines Objektes für die dunkeladaptierte Netzhautperipherie nicht nur mit der ausgestrahlten Lichtintensität, sondern auch mit der Flächengröße seines Netzhautbildes deutlich und nicht unerheblich zu- resp. abnimmt, daß aber die in der helladaptierten Netzhautperipherie

ausgelöste Helligkeitsempfindung fast ausschließlich durch Änderung der Lichtintensität, dagegen so gut wie gar nicht durch Änderung der Flächengröße des Objektes alteriert wird. Stellt man sich auf den Boden der von v. KRIES und PARINAUD neu begründeten Theorie der Lichtempfindungen, wonach im helladaptierten Auge vorwiegend die Zapfen, im dunkeladaptierten dagegen die Stäbchen die Auslösung der Lichtempfindungen vermitteln, so legen die hier mitgeteilten Feststellungen die Vermutung nahe, daß die lichtperzipierenden Elemente des Hell- und des Dunkelauges auf verschiedene Art miteinander, bzw. mit den höheren Teilen der Sehbahn verknüpft sind, derart, daß im einen Falle durch Addition der benachbarten Elemente treffenden Einzelreize eine Verstärkung der Helligkeitsempfindung in die Wege geleitet werden kann, daß dieses aber im anderen Falle kaum oder gar nicht erfolgt. Für diese Vermutung könnte in den bekannten Ergebnissen der histologischen Forschung wohl eine Grundlage gefunden werden; eine detaillierte Durchführung dieser Betrachtungen erscheint indessen zur Zeit noch nicht angängig und es dürfte vorerst ratsamer sein, sich mit diesen allgemeinen Andeutungen zu begnügen.

*(Eingegangen am 18. März 1903.)*

---