(Aus dem physik. Laboratorium der Kais. Technischen Hochschule in Moskau.)

Studien über das Weber-Fechner'sche Gesetz.

Einfluss der Grösse des Gesichtsfeldes auf den Schwellenwert der Gesichtsempfindung.

Von

P. Lasareff.

(Mit 3 Textfiguren.)

Bei einer Reihe von photometrischen Untersuchungen ist es wichtig, die Grösse der zu vergleichenden Felder so viel wie möglich zu verkleinern. Bei dieser Verkleinerung darf man jedoch nicht eine gewisse Grenze überschreiten, weil die Grösse der zu vergleichenden Felder einen merklichen Einfluss auf die Genauigkeit der photometrischen Einstellung hat, und zwar eine um so grössere, je kleiner die Felder sind. Der Zweck vorliegender Arbeit ist die quantitative Untersuchung der Beziehung zwischen der Augenempfindlichkeit und der Grösse der beleuchteten Felder.

Nennen wir r die Lichtstärke, welche aus dem beleuchteten Felde ins Auge fällt, und dr den minimalen Lichtzuwachs, welchen wir wahrnehmen können, so haben wir nach dem Fechner'schen Gesetz

$$dE = \frac{dr}{r},$$

wo E die Empfindungsstärke ist.

dE oder $\frac{dr}{r}$ ist also ein Maass für die Augenempfindlichkeit, und in der vorliegenden Arbeit ist die Beziehung zwischen $\frac{dr}{r}$ und der Feldgrösse S bei dem minimalen Empfindungszuwachs ermittelt.

Die Untersuchungen wurden mit den Lichtstärken gemacht, welche bei den gewöhnlichen photometrischen Arbeiten verwendbar sind, und bei denen nach König und Brodhun's[1]) Versuchen $\frac{\Delta r}{r}$ einen konstanten, von r unabhängigen Wert besitzt. Für die Versuche wurde weisses Licht gewählt, weil nach König und Brodhun's[2]) Untersuchungen keinen prinzipiellen Unterschied zwischen der Augenempfindlichkeit für weisses und monochromatisches Licht gibt.

Fig. 1.

Methode.

Die Methode wurde analog derjenigen gewählt, nach welcher König und Brodhun[3]) bei ihren Untersuchungen über das Weber-Fechner'sche Gesetz gearbeitet haben.

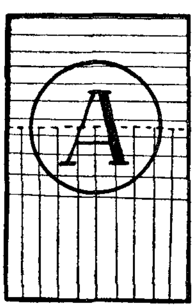

Fig. 2.

Das Licht einer Nernstlampe (Fig. 1 N) oder eines Acethylenbrenners fällt auf eine Mattglasscheibe G, vor welcher ein viereckiges Diaphragma D_1 gestellt ist, welches ein gleichmässig beleuchtetes Feld abgrenzt. Abstand GD_1 ist gleich 10—12 cm. Vor der Scheibe G befindet sich ein doppeltbrechendes Prisma P, welches die Lichtstrahlen so brechen soll, dass die beiden Strahlenbündel sich teilweise decken (Fig. 2).

Vor dem Prisma P in einem kleinen Abstand befindet sich ein zweites rundes Diaphragma D_2, so dass der Beobachter, welcher von rechts nach links sieht, zwei ungleich helle, aneinander grenzende Felder gewahrt (Fig. 2 A). Der obere Teil des runden Feldes wird

1) A. König, Gesammelte Abhandlungen zur physiol. Optik S. 116. Leipzig 1903.

2) A. König, l. c. p. 139.

3) A. König, l. c. p. 118.

durch linearpolarisiertes Licht und der untere durch zwei senkrecht zueinander polarisierte Strahlenbündel beleuchtet. Vor dem Diaphragma D_2 in einem Abstand von etwa 1 m ist ein Nikol nebst Fernrohr gestellt. Das Fernrohr ist auf das Diaphragma D_2 fokussiert. Das Diaphragma D_2 kann eine verschiedene Grösse (von 1—16 mm) haben, so dass der Beobachter, welcher ins Rohr sieht, nach Belieben ein Feld von verschiedener Grösse abgrenzen kann. Die Drehung des Nikols gestattet die gegenseitige Helligkeit der Felder zu variieren.

Berechnung.

Bezeichnen wir mit J die Lichtintensität jeder der beiden Bündel, welche das Prisma passieren. Wenn wir diese Bündel durch einen Nikol betrachten, dessen Hauptschnitt um einen Winkel α gegen denjenigen des Prismas verschoben ist, so erhalten wir für die Lichtstärke J_1 und J_2 der Bündel folgende Ausdrücke:

$$J_1 = J \cdot \cos^2\alpha \text{ und } J_2 = J \cdot \sin^2\alpha.$$

Im Gebiete des Gesichtsfeldes, wo die beiden Bündel zusammenfallen, bekommen wir die gesamte Lichtstärke J. Nennen wir r die Lichtstärke des oberen Teils des Feldes und $r + \Delta r$ diejenige des unteren, so erhalten wir ($r = J_1$ und $r + \Delta r = J_2$).

$$r = J \cos^2\alpha \text{ und}$$

$$r + \Delta r = J \text{ oder}$$

$$\frac{\Delta r}{r} = \operatorname{tg}^2\alpha.$$

Die Einstellung wurde auf solche Weise gemacht, dass der obere und der untere Teil des Feldes einen kaum merklichen Unterschied zeigten. Dieser Unterschied ist viel grösser als der mittlere Fehler bei der Einstellung auf gleiche Helligkeit. (Dieser Fehler beträgt für das untersuchte Auge etwa 0,3 %).
Jeder Winkel α ist das Mittel aus 10 Ablesungen.

Vor jeder Versuchsreihe wurden einige Einstellungen gemacht, um die maximale Augenempfindlichkeit zu erreichen.

Resultate.

In der folgenden Tabelle sind die Werte $\operatorname{tg}^2\alpha$, $\frac{\Delta r}{r}$, die Durchmesser d des Diaphragmas D_2 (in Zentimeter oder Graden) und die Werte d^2 $\left[\text{wobei } d^2 = \frac{4\,S}{\pi}\right]$ gegeben.

Tabelle I.

d	(Zentim.)	1,2	1,0	0,8	0,6	0,4	0,3	0,2	0,1
	(Grad)	1° 18′	1° 5′	52′	39′	26′	19,5′	13′	6,5′
	$\mathrm{tg}^2\alpha$	0,0430	0,0382	0,0436	0,0430	0,0609	0,0767	0,1858	0,4348
	$\frac{\Delta r}{r}$	0,04	0,04	0,04	0,04	0,06	0,08	0,19	0,43
	d^2	1,44	1,0	0,64	0,36	0,16	0,09	0,04	0,01

Wie aus der Tabelle ersichtlich ist, ist die konstante Empfindlichkeit schon erreicht, wenn der Durchmesser des Gesichtsfeldes nicht

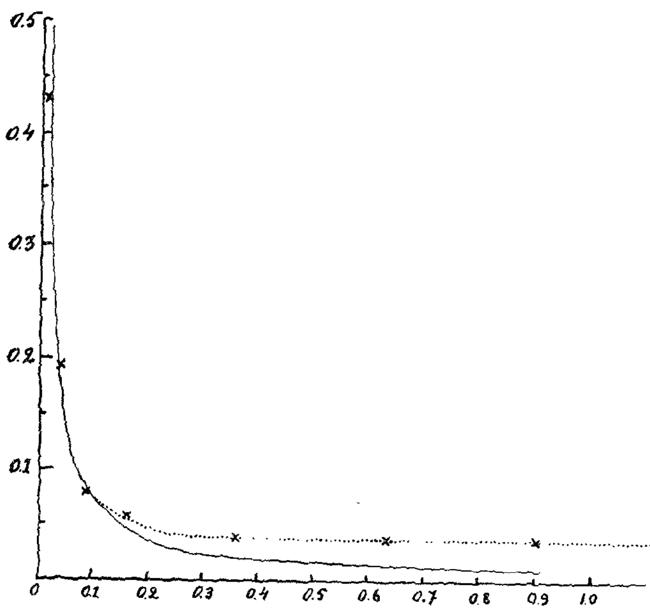

Fig. 3.

unter 40′ ist, da eine weitere Verkleinerung des Feldes eine Genauigkeitsverminderung bedingt.

Die Figur 3 stellt die graphische Beziehung von d^2 $\left[\text{oder } \frac{4S}{\pi}\right]$ und $\frac{\Delta r}{r}$ dar. Die erste Grösse als Abszisse, die zweite als Ordinate aufgetragen. Die beobachteten Werte von $\frac{\Delta r}{r}$ sind mit Kreuzen bezeichnet. Die ausgezogene Linie ist die gleichschenklige Hyperbel, für welche die Koordinatenachsen als Assymptoten dienen.

Aus Fig. 3 ersieht man, dass von einer sehr kleinen Grösse des Gesichtsfeldes bis zu einem Feld von 26′ [$d^2 = 0{,}16$] die Beziehung $\frac{\Delta r}{r}$ und $d^2 \left[\frac{4\ S}{\pi}\right]$ sehr gut durch eine Hyperbel darstellbar ist.

Die gewonnenen Resultate gestatten eine sehr einfache physiologische Erklärung. Nehmen wir an, wie Helmholtz[1]) es tat, und wie es von König und Brodhun[2]) bestätigt wurde, dass bei einer Lichtempfindung der Empfindungszuwachs dE nicht nur von objektivem Licht r, sondern auch von dem sogenannten Eigenlicht der Netzhaut α bedingt ist. Ist die Grösse der Oberfläche der Netzhaut, wo das Eigenlicht den Wert zwischen α und $\alpha + d\alpha$ hat, $\varphi(\alpha)\, d\alpha$, so muss nach Helmholtz[3]) der Empfindungszuwachs folgenden Ausdruck haben:

$$dE = dr \int_o^a \frac{\varphi(\alpha)\, d\alpha}{r + \alpha} \quad \ldots\ldots \quad \text{(I)}$$

Die Formel (I) stellt nichts anderes dar, als dass die Wirkungen der einzelnen Teile der Netzhaut summierbar sind. Die Grenzen o und a zeigen, dass das Eigenlicht in den beleuchteten Stellen der Netzhaut von o bis a varriieren kann. Wenn r gross genug im Zergleich zu α ist, so unterscheidet sich die Formel (I) nicht von dem Ausdruck

$$dE = \frac{dr}{r} \int_o^a \varphi(\alpha)\, d\alpha \quad \ldots\ldots \quad \text{(II)}$$

Wie ersichtlich ist, muss das Integral $\int_o^a \varphi(\alpha)\, d\alpha$ die Summe aller Oberflächen, welche von aussen beleuchtet sind, darstellen. Das obengenannte Integral ist deshalb gleich S.

Der eben merkliche Empfindungszuwachs dE hat, nach Fechner, immer eine konstante Grösse, weshalb es klar ist, dass zwischen S und $\frac{\Delta r}{r}$, sobald die Summation der einzelnen Reize stattfindet,

1) H. v. Helmholtz, Wissensch. Abhandlungen Bd. 3 S. 392. Leipzig 1895.
2) A. König, l. c.
3) H. v. Helmholtz, l. c. S. 396.

eine hyperbolische Beziehung vorhanden sein muss ($dE =$ Konst.). Die Abweichungen müssen bei ganz kleinen Feldern, welche mit dem Durchmesser der Stäbchen kommensurabel sind, oder, wie Versuche gezeigt haben, bei grossen Feldern (grösser als 40′), wo die Summation der Reize aufhört, beobachtet werden. Bemerkenswert erscheint, dass die Feldgrösse, bei welcher die Summation noch stattfindet, der Grössenordnung nach dem Durchmesser der Fovea centralis der Netzhaut gleich ist.