

Die Abnahme der Empfindlichkeit des Auges unter der Einwirkung konstanter Lichtreize

Von

Herbert Schober und Margarethe Triltsch

(Mit 2 Textfiguren)

(Aus dem II. Physikalischen Institut der Universität Wien)

(Vorgelegt in der Sitzung am 28. Juni 1928)

§ 1. Voraussetzungen.

Über den Adaptationsprozeß des Auges finden sich trotz seiner Wichtigkeit für alle photometrischen Untersuchungen in der Literatur noch verhältnismäßig wenig brauchbare quantitative Angaben. Neben einigen kleineren Arbeiten der Kries'schen¹ Schule haben sich C. Müller² und L. Troland³ mit derartigen Fragen beschäftigt. Außer diesen älteren Publikationen kommen noch verschiedene Untersuchungen in Betracht, die in den letzten Jahren im II. Physikalischen Institut der Wiener Universität ausgeführt wurden und die experimentelle Prüfung der von E. Haschek⁴ entwickelten und vor kurzem veröffentlichten Theorie des Sehvorganges bezweckten.

In der allerletzten Zeit hat dann noch S. W. Kravkov⁵ Versuche publiziert, die er gleichzeitig mit uns im Moskauer Laboratorium für Physik und Biophysik ausgeführt hat. Leider war es uns nicht mehr möglich, in dieser Arbeit seine Resultate ausführlich zu berücksichtigen.

Die Kravkov'schen Versuche fußen auf einer von P. Lasareff begründeten Theorie der Helladaptation, deren Grundzüge uns allerdings bis heute nur aus der eben zitierten Arbeit bekannt sind. Sie scheint aber mit der Haschek'schen eine gewisse formale Ähnlichkeit zu besitzen.

In der vorliegenden Arbeit handelt es sich im wesentlichsten darum, die Folgerungen der Haschek'schen Sehstofftheorie auf die Ermüdungserscheinungen des Auges mit den experimentellen Daten

¹ I. v. Kries, Über die Ermüdung des Sehnerven. Arch. f. Ophthalm., 23, 17—19, 1877.

² C. F. Müller, Über den zeitlichen Verlauf der Netzhautermüdung. Dissertation, Zürich, 1886.

³ L. Troland, The colors produced by equilibrium photopic adaptation. Journal of experimental psychology, IV, 1921.

⁴ E. Haschek, Ein Beitrag zur Young-Helmholtz'schen Theorie. Sitzungsber. d. Akad. d. Wiss. in Wien, math.-naturw. Kl., 1928.

⁵ S. W. Kravkov, Adaptation des Auges an farbige Lichtreize. Journal für Psychologie und Neurologie, 1928, Bd. 36, Heft 1 u. 2.

zu vergleichen und aus der Differentialgleichung für die Empfindlichkeit (nach Ermittlung ihrer Konstanten) die Ermüdungskurven zu berechnen.¹

Zur Erreichung des besagten Zweckes mußten die empirischen Werte neuerlich bestimmt werden. Dieser Aufgabe hat sich unter Anwendung einer verbesserten Methode M. Triltsch unterzogen, während H. Schober die rechnerische und theoretische Auswertung auf sich nahm.

Die Haschek'sche Sehstofftheorie stellt eine Vereinigung neuerer sinnesphysiologischer Ansichten mit der Exner²-Aigner'schen³ Resonanztheorie dar. Sie gründet sich im wesentlichen auf die folgenden Annahmen:

Die im Auge vorhandenen Sehstoffe werden durch das Licht in Resonanzschwingungen versetzt, welche, sobald nur ihre Amplituden genügend hohe Werte erreichen, zu einem Zerfall der Moleküle führen.

Setzt man die physiologische Empfindlichkeit proportional der Menge der momentan vorhandenen Sehstoffe, so ist man imstande, dafür eine Differentialgleichung zu entwickeln. Die durch den photochemischen Prozeß bewirkte Abnahme der Sehstoffe wird durch die Zufuhr neuer arbeitsfähiger Substanzen, welche sofort einzusetzen beginnt, und durch die Abfuhr der Abfallsstoffe gebremst.

Die Sehstoffe und Abfallsstoffe an sich bewirken keinen Reiz. Ein solcher entsteht nur durch den Zerfallsprozeß, worüber aber in der Theorie keine nähere Aussage gemacht wird. Die Abnahme der Empfindlichkeit geht proportional der wirkenden Reizstärke.

Haschek hat in der oben zitierten Arbeit für die Abhängigkeit der Sehstoffe von der Zeit und der wirksamen Lichtstärke den folgenden Differentialansatz gefunden:⁴

$$\frac{dS}{dt} = -\sigma JS + \rho (S_0 - S),$$

woraus durch Integration die Formel

$$S = \frac{\rho S_0}{\sigma J + \rho} (1 - e^{-(\sigma J + \rho)t}) - \sum e^{-(\sigma J + \rho)t}$$

erhalten wird.

¹ Eine weitere von H. Schober und H. Weber ausgeführte Untersuchung, die demnächst nachfolgen soll, wird sich dann in derselben Weise mit den Regenerationsprozessen beschäftigen.

² F. Exner, Versuch einer Theorie des Farbensehens. Wiener Akad. d. Wiss., S. II a, 131, 54, 1922.

³ F. Aigner, Zur Resonanztheorie des Farbensehens. Ebenda, 131, 25, 1922.

⁴ Im Haschek'schen Ansatz ist natürlich die Lichtenergie eine beliebige Funktion der Zeit. Für unsere Zwecke ist es aber vollkommen ausreichend, J konstant zu setzen.

Es soll dabei

- S die Menge der im Momente t vorhandenen Sehsubstanz,
 S_0 die maximal mögliche, d. h. im vollständig dunkeladaptierten Auge vorhandene Menge,
 Σ die bei Beginn des Prozesses vorhandene Menge der Sebstoffe bezeichnen,
 J ist die Reizstärke (Intensität des auf die Netzhaut treffenden Lichtes),
 σ die sogenannte photochemische Empfindlichkeit,
 ρ der Koeffizient der Regenerationsgeschwindigkeit und endlich
 t die Zeit.

Wenn wir mit Haschek die physiologische Empfindlichkeit als S/S_0 definieren, folgt die endgültige Gleichung:¹

$$E = \frac{\rho}{\sigma J + S} (1 - e^{-(\sigma J + \rho)t}) + \frac{\Sigma}{S_0} e^{-(\sigma J + \rho)t}.$$

Aus der Formel für die physiologische Empfindlichkeit lassen sich sofort einige wichtige Schlüsse ziehen.

1. Die Empfindlichkeit des Auges muß entlang einer e -Potenzkurve abnehmen.

2. So lange ein Reiz einwirkt, wird die Empfindlichkeit mit der Zeit immer kleiner, um sich aber nicht dem Werte Null, sondern einem stationären Endwert \bar{E} , der durch die Formel

$$\bar{E} = \frac{\rho}{\sigma J + \rho}$$

gegeben ist, zu nähern. Wir wollen diesen Endwert in Zukunft als den Adaptationswert bezeichnen. Da er verkehrt proportional der wirksamen Reizstärke ist, so muß mit sehr großem J die Empfindlichkeit Null, also vollständige Blendung eintreten.

(Diese Sätze gelten selbstverständlich nur bei konstanten Reizwerten J in der obigen Form.)

§ 2. Methodik der Versuche.

Alle Versuche, die von uns zur Darstellung der Empfindlichkeitsänderungen unternommen wurden, sind nach Verfahren gemacht

¹ Bis auf das letzte Glied stimmt auch der Lasareff-Kravkov'sche Ansatz mit dem unserigen überein. Es wird sich später noch erweisen, daß gerade dieses Glied in der Auswertung der Kurven eine bedeutende Rolle spielt. Ist nämlich das Auge nicht vollkommen dunkel adaptiert, so sind die zu Beginn des Versuches vorhandenen Sebstoffe nicht S_0 , sondern $\Sigma < S_0$. In allen bis heute bekannten Methoden zur Ermittlung von Ermüdungskurven ist aber volle Dunkeladaptation tatsächlich nicht vorhanden.

worden, die nur einen einzigen Beobachter erfordern. Dadurch gelingt es, die in ziemlich allen früheren Experimenten störenden Komplikationen durch das Auftreten mehrerer persönlicher Gleichungen zu umgehen und damit die Meßgenauigkeit zu erhöhen.

Zur Ermittlung der Kurven, welche die Ermüdung des Auges als Funktion der Wirkungszeit eines konstanten Reizes darstellen sollen, wurde der folgende Weg eingeschlagen:

Man läßt durch eine genau gemessene Zeit einen konstanten Lichtreiz J auf die dunkeladaptierte Netzhaut des Auges einwirken. Dadurch wird an der betreffenden Stelle die Empfindlichkeit des Netzhautapparates herabgesetzt. Nach Ablauf dieser Zeit reizt man durch rasches Öffnen einer Blende eine benachbarte bis dahin noch ungereizte Stelle desselben Auges mit einer schwächeren Intensität J' .

Es ist jetzt Aufgabe des Beobachters, sofort zu beurteilen, ob der Reiz J' im ersten Moment dieselbe Empfindung hervorruft, als der schon viel länger wirkende Reiz J . Durch geeignete Variation der Wirkungsdauer von J und der Stärke von J' wird sich dieser Fall immer verwirklichen lassen.

Die Versuche erfordern naturgemäß zur Erlangung größerer Genauigkeiten eine genügende Zahl von Beobachtungen und eine gewisse erst mit der Zeit zu erwerbende Übung. Denn es ist sehr wichtig, daß das Urteil über die Gleichheit der beiden Empfindungen möglichst rasch erfolge, gleichzeitig aber am Metronom der Zeitpunkt festgelegt werde, mit einem Wort, daß der Fehler wegen der persönlichen Gleichung des Beobachters auf ein Minimum herabgedrückt werde. Es gelang auch mit Ausnahme der allerersten Versuche, die weiterhin nicht mehr in Betracht gezogen wurden, unter einer Fehlergrenze von $2\frac{0}{10}$ zu bleiben.

Nebenbei sei bemerkt, daß das Verhalten der beiden Augen in Bezug auf den Ermüdungsvorgang kein sehr verschiedenes war, so daß man innerhalb der Genauigkeitsgrenzen den Versuch auch im binokularen Sehen hätte ausführen können.¹

Unsere sämtlichen Kurven wurden bei weißem Licht aufgenommen. Die Verwendung farbiger Reizlichter erwies sich als ungünstig, da sich als Folge der Ermüdung nicht nur Helligkeits-, sondern auch Sättigungsänderungen² ergaben, worüber an geeigneter Stelle noch berichtet werden wird.

¹ Kravkov bemerkt in seiner Arbeit, daß auch die Unterschiede in den Ermüdungskurven verschiedener Personen nicht allzu groß sind, insofern natürlich normale Verhältnisse in Betracht kommen. Die mittlere Variation bleibt unter $4\frac{0}{10}$.

² Es ist eine schon lange bekannte Tatsache und ergibt sich auch aus der Theorie, daß infolge der Ermüdung des Auges nicht nur Helligkeits-, sondern auch Sättigungs- und Farbenvvariationen auftreten.

Diese bleiben bei genügend schwachen Reizen und kurzer Dauer noch innerhalb enger Grenzen. Da aber in diesen Fällen die Helligkeits- und Sättigungsvariationen leicht verwechselt werden, so wird die Genauigkeit der Beobachtungen durch Mißachtung dieses Umstandes wesentlich herabgesetzt.

Die Kravkov'schen und einige frühere Kurven wurden offenbar unter Nichtbeachtung dieser Schwierigkeit mit gefärbtem Reizlicht aufgenommen.

§ 3. Die Bestimmung der Ermüdungskurven.

Es wird von Interesse sein, zunächst ein paar Worte über unsere Versuchsanordnung zu verlieren.

Wie bei allen Empfindlichkeitsmessungen des Auges handelt es sich auch hier um eine rein photometrische Methode. Dadurch ist aber schon von vorneherein eine gewisse Ungenauigkeit garantiert und es ist eine wichtige Aufgabe, die Fehlerquellen genau zu untersuchen und nach Möglichkeit zu eliminieren.

So zeigt es sich als eine selbstverständliche Notwendigkeit, die beiden Vergleichslichter einer und derselben Lichtquelle zu entnehmen, um allen Verschiedenheiten der Färbung aus dem Wege zu gehen. Das geschah in der folgenden Weise. Die von einer beleuchteten Mattscheibe »M« ausgehenden Strahlen fallen nach dem Passieren einer Irisblende auf ein Scheideprisma, wodurch sie in zwei Lichtbündel zerlegt werden. Das obere (ausgezogene) wird in der aus der nebenstehenden Skizze ersichtlichen Weise nach rechts reflektiert und gelangt mittels Totalreflexionen an einem zweiten Prisma in eine Konvexlinse, die es parallel

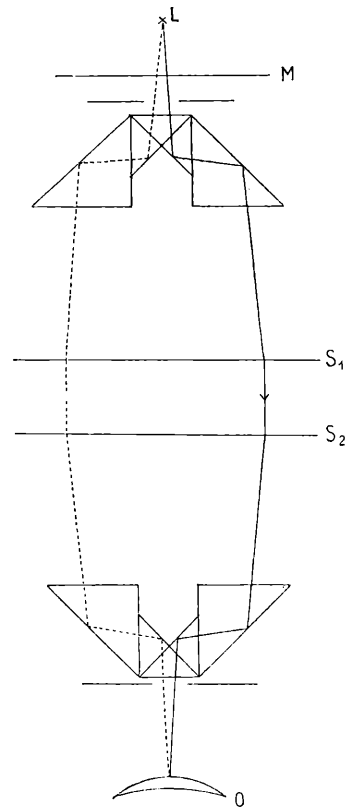


Fig. 1.

Das entsprechende geschieht mit dem nach links hin reflektierten untern Bündel. Ein diesem Kollimator ähnlich gebautes Fernrohr gestattet die beiden Bündel wieder übereinander zu bringen, so daß man im Okular zwei durch eine scharfe Linie getrennte helle Felder von gleicher Färbung sieht. Jede der beiden Prismen-Linsenanordnungen ist in einstellbaren Messingrohren eingebaut. Die Rohre sind innen mit schwarzem Tuchpapier ausgekleidet, die beiden Lichtbündel durch eine schwarze Pappwand längs ihres Strahlenganges vollkommen voneinander getrennt.

In den Strahlengang zwischen den beiden Linsen wurde ein Doppelspalt S_2 gebracht, dessen beide Spalten so gegeneinander verschiebbar waren, daß der eine Spalt das obere und der andere das untere Bündel durchließ. Beide Spalte waren mit $9 \cdot 16 \text{ mm}$ Breite möglichst weit geöffnet und auf gleiche Helligkeit der beiden Felder eingestellt. Durch zwei Mikrometerschrauben konnten sie unabhängig voneinander verstellt werden. Die Schraubenteilung

gestattete eine weit über die Photometergenauigkeit hinausgehende Ableseung der Verschiebungen. Vor S_2 war außerdem noch eine Blende S_1 zum vollkommenen Verdunkeln des oberen Lichtfeldes angebracht, die durch eine Stahlfeder rasch zurückgezogen werden konnte.

Als Lichtquelle wurde für die Versuche meist eine 100-Wattlampe aus Mattglas benützt. Durch Vorschalten geeigneter Graugläser mit gemessener Absorption konnte man ihre Helligkeit entsprechend variieren. Auf diese mußte ein besonderes Augenmerk gerichtet werden. Denn es zeigte sich sehr bald, daß Unregelmäßigkeiten ihrer Körnung oder der Färbung der Graufilter die Ursache bedeutender Fehlerquellen sein konnten.

Eine andere Fehlerquelle entstand durch die Verwendung allzu hellen oder blendenden Lichts. Es wurde daher fast durchwegs nicht das direkte, sondern das durch diffuse Zerstreuung an einem passenden Schirm gewonnene Licht benützt.

Eine lange Reihe von Messungen wurde der Ermüdung unter dem Einflusse natürlichen sowohl direktem als auch diffusem Sonnenlicht gewidmet. In diesen Fällen wurde an einem passend adjustierten Lummerphotometer beobachtet. Es fiel dabei das durch diffuse Streuung und Mattscheiben geschwächte Licht auf zwei Spiegel, die unter je 45° zu der weißen Platte des Photometers geneigt waren. Vor der Mattscheibe waren wieder prozentuell verkleinerbare Blenden angebracht, die eine genügend genaue Ableseung der Verdunklung gestatteten. Ebenso fehlte auch die mit der Feder verbundene Blende nicht zur plötzlichen Abdunklung, beziehungsweise Aufhellung.

Daß Versuche mit so großen Intensitäten, wie sie das Sonnenlicht liefert, bedeutenden Schwierigkeiten in Bezug auf die Meßgenauigkeit begegnen, ist wohl selbstverständlich. Außerdem stellen sich sehr leicht Sehstörungen wie Flimmern usw. ein, was zu Bedenken für den regulären Ablauf des Sehprozesses Anlaß gibt. Wir haben daher vorderhand den Versuch einer quantitativen Auswertung der bei Sonnen- und Himmelslicht aufgenommenen Kurven zurückgestellt.

Es zeigen sich hier auch besonders stark die schon eingangs erwähnten Änderungen der Farbqualitäten, welche die ermüdete gegen die noch frische Netzhaut angibt. Wir haben zwar den Versuch gemacht, durch Einschieben verschieden gefärbter Lichtfilter aus Gelatine die Farbtonänderungen zu umgehen, doch mißlangen alle diese Versuche infolge der unvermeidlichen starken Sättigungsänderungen.

Aus diesen Gründen entschlossen wir uns, die Experimente im weißen Licht mit möglichster Genauigkeit auszuführen. Das Weiß wurde durch Filtrierung des von der Versuchslampe herkommenden Lichtes mittels Gelatinefilter erzeugt.

Bei allen unseren Versuchen wurde die Empfindlichkeit als Funktion der Zeit bestimmt, da zur Beobachtungsdauer von 2 bis

30 Sekunden die entsprechende Abbildung des oberen Lichtbündels gesucht wurde. Um die Kurven noch genauer festzulegen, wurde die Methode auch dahin variiert, daß die beiden Photometerfelder auf eine bestimmte Helligkeitsdifferenz gebracht wurden und dann die Dauer des Reizes gesucht wurde, nach der die beiden Felder gleich hell erschienen. Das bei den Messungen durchwegs verwendete Metronom ließ die Genauigkeit von halben Sekunden und das Schätzen von Viertelsekunden zu. Die Werte entsprechen einander sehr gut. Leider war es nicht möglich, die Reizstärken in absoluten Energieeinheiten zu messen, da die Absorption der Filter, Linsen usw. einer absoluten Angabe der Lichtenergie in Erg in bezug auf die Genauigkeit Schwierigkeiten entgegensetzt.¹ Dies

Tabelle I.

Reizstärke $J = 1$.

t	J'	F^0_0	t	J'	F^0_0
0	100·0	—	—	100·0	—
2	82·5	2	1·25	88·0	2
4	73·0	2	3·1	76·0	2
6	67·8	2	5·07	70·0	2
8	64·0	1	11·5	60·0	0·5
10	61·5	2	17·4	58·0	1
15	58·5	1	—	—	—
20	57·8	2	—	—	—
30	56·2	1	—	—	—

Reizstärke $J = 4$.

t	J'	F^0_0	t	J'	F^0_0
0	100·0	—	0	100·0	—
2	79·0	1	0·75	88·0	2
4	68·4	2	3·10	72·0	2
6	61·5	1	5·10	64·0	2
8	57·9	1	13·37	52·0	1
10	54·6	2	18·1	50·0	1
15	51·2	2	—	—	—
20	49·1	1	—	—	—
30	47·9	1	—	—	—

Reizstärke $J = 16$.

t	J'	F^0_0	t	J'	F^0_0
0	100·0	—	0	100·0	—
2	74·0	2	0·9	88·0	3
4	52·8	2	2·85	68·0	1
6	56·5	1	4·80	60·0	2
8	52·4	2	11·3	48·0	1
10	49·3	1	17·9	44·0	2
15	45·3	1	—	—	—
20	43·3	1	—	—	—
30	41·6	1	—	—	—

¹ Wir haben als Einheit der Intensität ($J = 1$) eine in bestimmter Entfernung vor der Mattscheibe stehende 100-Wattlampe verwendet.

ist deshalb bedauerlich, als infolgedessen die Konstanten der Haschek'schen Differentialgleichung nur in Relativwerten gegeben werden können.

Die in der vorstehenden Tabelle I aufgeschriebenen Zahlen sind natürlich Mittelwerte über eine längere Reihe von Beobachtungen. Die erste Spalte enthält die Ermüdungszeit, die zweite die dazugehörige Intensität J' in Prozenten der Anfangshelligkeit, die dritte Spalte die mittleren Beobachtungsfehler.

In den folgenden Spalten (4, 5, 6) sind analog die zu einer vorgegebenen Endhelligkeit gefundenen Ermüdungszeiten enthalten.

§ 4. Die Auswertung der Ermüdungskurven.

Im folgenden soll der Versuch gemacht werden, die im Vorausgehenden gegebenen Zahlen der Tabelle I auf Grundlage der Haschek'schen Theorie auszuwerten. Es ist klar, daß wir dabei nicht bloß die experimentell gegebenen Werte in die Differentialgleichung — deren Konstanten zuerst bestimmt worden sind — einsetzen dürfen, sondern daß mit Rücksicht auf die besprochenen Ungenauigkeiten die Ausgleichsrechnung angewendet werden muß.

Auf eines wird dabei noch zu achten sein.

Die photochemische Empfindlichkeit ist eine Funktion der Wellenlänge des Reizlichtes. Es müßte daher in einer exakten Darstellung jede der Ermüdungskurven gesondert für die drei Grundempfindungen aufgenommen werden. Da aber deren wahre Werte uns bis heute unbekannt sind und außerdem die schon oben erwähnten Sättigungs- und Qualitätsänderungen auch deren Verhältnisse verschieben, so ergeben sich für die praktischen Ausführung der Versuche große Schwierigkeiten.

Verzichten wir auf diese Darstellung und wählen weißes Licht, so muß ein Wert für σ eingesetzt werden, der gleich ist der Summe von $\sigma_R + \sigma_G + \sigma_B$.

Dasselbe ist für den Regenerationskoeffizienten ρ der Fall, da mit der Farbe des Reizlichtes sich die Menge der Abfallstoffe und infolgedessen auch die Regeneration ändert. Nur wird die Variation von ρ mit der Wellenlänge nicht so bedeutend sein, als die von σ .

Wir werden also im folgenden so vorgehen, als ob wir nur eine photochemische Empfindlichkeit und einen Regenerationskoeffizienten hätten.

Nach Annahme muß die auf die noch dunkeladaptierten Netzhautpartien einwirkende Lichtintensität J' die gleiche Empfindung hervorrufen, als die schon durch die Zeit t wirkende Intensität J . Es ist daher, wenn E_1 und E_2 die beiden Empfindlichkeiten bezeichnen

$$E_1 J' = E_2 J.$$

Die Empfindlichkeit E_1 haben wir wegen der vorausgesetzten Dunkeladaptation zunächst als 1 angenommen.

Durch geeignete Umformung der Differentialgleichung für E_2 gelingt es aus den bei der Intensität $J = 1$ gemessenen Werten J' und den dazugehörigen Zeiten die Konstanten ρ und σ zu ermitteln.

Nehmen wir den durch Extrapolation gewonnenen Asymptotenwert der Adaptation zu $55 \cdot 9\%$ der Ausgangsempfindlichkeit an, so gilt:

$$0 \cdot 559 = \frac{\rho}{\sigma + \rho}$$

Es ist jetzt weiters wegen der Dunkeladaptation

$$\frac{\Sigma}{S_0} = 1$$

und endlich

$$J' = 0 \cdot 559 + (1 - 0 \cdot 559) e^{-(\sigma J + \rho)t},$$

woraus man nach einigen Umformungen die Mittelwerte der Konstanten als

$$\rho = 0 \cdot 092 \pm 0 \cdot 005$$

$$\sigma = 0 \cdot 090 \pm 0 \cdot 005$$

findet.

Diese Konstanten in die Differentialgleichung eingesetzt, müßten uns jetzt auch die Kurven für $J = 4$ und $J = 16$ liefern. Aus der nachfolgenden Tabelle und der Kurve ersieht man die Übereinstimmung zwischen der Theorie und den empirischen Werten. Als theoretische Werte sind die mittels der Differentialgleichung berechneten $J_{\text{theor.}}$ (die strichlierten Linienzüge) zu bezeichnen. Man sieht, daß die Übereinstimmung bis auf die ersten Punkte eine verhältnismäßig gute ist.

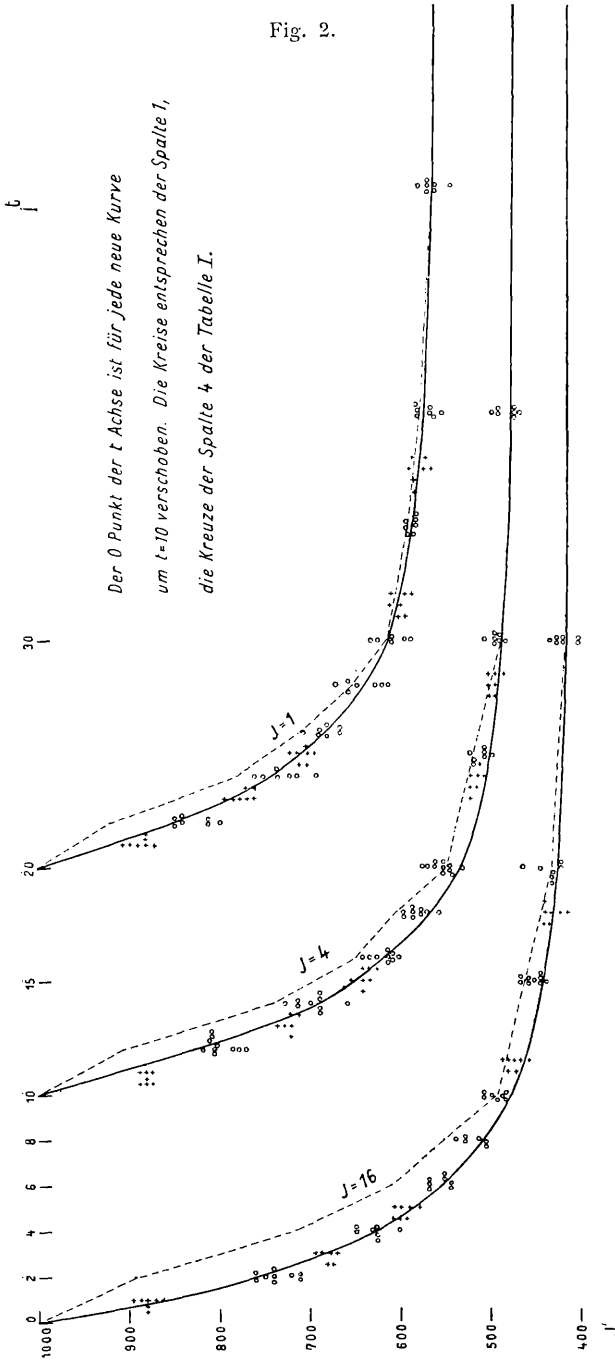
Um eine noch bessere Angleichung zu erzielen haben wir versucht, die folgende plausible Annahme zu unterlegen.

Es ist bestimmt unzulässig, vorauszusetzen, daß bei den Versuchen die vorerst geschützten Netzhautstellen während der ganzen Dauer von t voll dunkeladaptiert bleiben. Denn erstlich werden schon während der Zeit, wo noch J allein wirkt, unwillkürliche Bewegungen des Auges vorkommen, die mindestens eine Belichtung der Randteile des geschützten Gebietes bewirken, besonders wenn die Intensität J sehr groß ist. Man kann aus der Zeichnung auch tatsächlich ersehen, daß die Abweichungen der theoretischen Kurven von den Beobachtungspunkten um so stärker werden, je größer J ist.

Außer diesem Umstand werden Überstrahlungen und andere Ursachen bei der Herabminderung des Adaptationszustandes mitwirken. Auch ein anderer Punkt darf nicht übersehen werden. Bis zur Fällung des Urteils, ob gleich oder ungleich, vergeht doch eine

gewisse Zeit (psychische Präsenzzeit). Während dieser wirkt aber schon der Reiz J' und die Folge wird eine gerade im Anfang sehr starke Empfindlichkeitsabnahme sein.

Fig. 2.



Der 0 Punkt der t Achse ist für jede neue Kurve um $t=10$ verschoben. Die Kreise entsprechen der Spalte 1, die Kreuze der Spalte 4 der Tabelle I.

Man kann unter Berücksichtigung dieser Korrekturen die Funktionalgleichung so verbessern, daß E_2 nicht mehr gleich 1 gesetzt wird, sondern einen je nach der Stärke von J kleineren Wert erhält. Dieser Wert, den wir ziemlich willkürlich gewählt haben, muß nach dem vorausgehenden sicher mit der Zeit weiter abnehmen. Ebenso ist $\frac{\Sigma}{S_0}$ nicht mehr gleich 1, sondern wieder entsprechend kleiner zu nehmen.

Auf Grund dieser Annahmen haben wir die Kurven neuerlich gerechnet und ganz ausgezeichnete Übereinstimmung mit den

Tabelle II.

Intensität des Reizes = 1.

t	$J'_{\text{beob.}}$	$J'_{\text{ger.}}$	$J'_{\text{korr.}}$	Adaptation 0/0
0	100·0	100·0	100·0	100
2	82·5	92·0	85·0	92
4	73·0	77·9	74·0	92
6	67·8	70·6	68·0	92
8	64·0	65·4	65·1	92
10	61·5	61·0	60·9	92
15	58·5	58·8	58·4	91
20	57·8	57·3	57·0	91
30	56·2	56·1	56·1	90
∞		55·9	55·9	90

Intensität des Reizes = 4.

t	$J'_{\text{beob.}}$	$J'_{\text{ger.}}$	$J'_{\text{korr.}}$	Adaptation 0/0
0	100·0	100·0	100·0	100
2	79·0	90·5	82·6	90
4	68·4	73·6	68·6	90
6	61·5	64·8	61·8	90
8	57·9	60·4	58·2	90
10	54·6	54·4	53·0	89
15	51·2	50·7	49·9	89
20	49·1	48·4	48·3	89
30	47·9	47·4	47·4	88
∞		47·2	47·2	88

Intensität des Reizes = 16.

t	$J'_{\text{beob.}}$	$J'_{\text{ger.}}$	$J'_{\text{korr.}}$	Adaptation 0/0
0	100·0	100·0	100·0	100
2	74·0	89·3	76·2	86
4	62·8	71·5	62·5	86
6	56·5	60·7	55·3	86
8	52·4	55·0	50·8	86
10	49·3	49·0	47·6	86
15	45·3	45·9	44·0	85
20	43·3	42·6	42·2	85
30	41·6	41·2	41·2	85
∞	—	41·0	41·0	85

Beobachtungen gefunden. (Vgl. Werte $J_{\text{korr.}}$ der Tabelle und die ausgezogenen Kurven.)

Die Abweichungen bleiben durchwegs innerhalb der Genauigkeitsgrenzen der Messungen.

Als letzte Spalte haben wir dann noch in der Tabelle die zugehörigen Adaptationswerte notiert.

§ 5. Zusammenfassung.

Zur Prüfung der Haschek'schen photochemischen Theorie der Empfindlichkeit wurden bei weißem Licht Versuche über den Zusammenhang zwischen der Stärke des Lichtreizes und der Änderung der physiologischen Lichtempfindlichkeit der Netzhaut mit der Dauer des Lichteindruckes gemacht. Die erhaltenen Werte werden mit der Theorie verglichen und in willkürlichen Einheiten die Konstanten der Haschek'schen Gleichung, d. i. die photochemische Empfindlichkeit der Sehstoffe und die Konstante der Regeneration bestimmt. Es gelingt, durch eine passende Annahme über die Anfangsempfindlichkeit bei den durchgeführten Versuchen eine Übereinstimmung zwischen den experimentell bestimmten Daten und den aus der Theorie folgenden zu erzielen, die vollständig innerhalb der Versuchsfehler gelegen ist.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse](#)

Jahr/Year: 1928

Band/Volume: [137_2a](#)

Autor(en)/Author(s): Schober Herbert, Triltsch Margarethe

Artikel/Article: [Die Abnahme der Empfindlichkeit des Auges unter der Einwirkung konstanter Lichtreize. 539-550](#)