

(Aus dem physiologischen Institut zu Freiburg i. B.)

## Quantitative Untersuchungen über die Bleichung des Sehpurpurs in monochromatischem Licht.

Von

Dr. WILHELM TRENDLENBURG,  
Assistent am Institut.

### I. Literatur, Plan der Untersuchung.

Das grofse Interesse, welches man dem von BOLL entdeckten, von KÜHNE als chemischen Stoff erkannten Sehpurpur entgegenbrachte, mufste im Laufe der Erweiterung unserer Kenntnisse, welche wir hauptsächlich den umfassenden Arbeiten KÜHNES und seines Mitarbeiters EWALD verdanken, mehr und mehr zurücktreten, einiger Tatsachen wegen, welche heutzutage die Aufmerksamkeit gerade wieder ganz besonders auf den rätselhaften lichtempfindlichen Stoff zurücklenken. Die nähere Untersuchung zeigte, dafs der Sehpurpur, welcher ja nur der einen Art der lichtempfindlichen Netzhautelemente, den Stäbchen, zukam, in der menschlichen Fovea vollkommen fehlte, in der Stelle also, mit welcher gerade das deutlichste Sehen möglich war. Dafs Frösche, welche im Dunklen Sehpurpur bilden, im grellen Licht, also ohne Sehpurpur noch ganz vorzüglich sehen, wurde schon von KÜHNE(8) gezeigt, und von ihm weiter eine grofse Anzahl von Tieren gefunden, welche keinen Sehpurpur zu bilden vermögen, deren Auge aber auch stäbchenlos ist. Während KÜHNE deshalb an die von M. SCHULTZE vergleichend anatomisch begründete Hypothese von der Bedeutung der Stäbchen anknüpfte, findet man noch bis in die neueste Zeit hinein die Meinung vertreten, dafs der Sehpurpur wegen seines zentralen Fehlens u. dgl. keine direkte Beziehung zum Sehen haben könne. So schien der Sehpurpur längere Zeit nur eine nicht näher verständliche Merkwürdigkeit darzustellen.

Ein bedeutender Umschwung trat hierin ein, als eine Gruppe von Erscheinungen bekannt und näher erforscht wurde, welche

v. KRIES als „Dämmerungssehen“ zusammengefaßt hat. Es erscheint hier nicht nötig, eine nähere Schilderung und Begründung für die v. KRIESSche Hypothese über die Bedeutung des Stäbchen-Sehpurpurapparates zu geben; im Hinblick auf das Gesagte sei hier nur erwähnt, daß gerade das zentrale Fehlen des Dämmerungssehens auf eine Einrichtung lediglich der peripheren Netzhautteile hinwies.

Nachdem somit dem Sehpurpur neue und wichtige Eigenschaften zugeschrieben wurden, war es notwendig, seine physikalisch-chemischen Eigenschaften näher zu erforschen. Die große Menge von Fragen, welche KÜHNE angriff, war nunmehr mit neuen technischen Hilfsmitteln erneut zu bearbeiten. Über die Absorption des Sehpurpurs verdanken wir sehr genaue Kenntnisse den Arbeiten von KÖNIG (3) und KÖTTGEN u. ABELSDORFF (5), von denen ersterer schon wichtige Beziehungen der Sehpurpurabsorption zum Dämmerungssehen aufdeckte. Über die Bleichung des Sehpurpurs durch spektrales Licht sind hingegen keine neueren Untersuchungen veröffentlicht worden, ältere wurden außer von BOLL, von KÜHNE und von HAMBURGER angestellt. In einer ersten Versuchsreihe entwarf KÜHNE (7) ein Spektrum von 3 cm Höhe und 6 cm Länge auf eine Milchglascheibe, auf welcher Streifen von purpurhaltiger Kaninchen-netzhaut oder Froschnetzhäute aufgelegt waren. Nach 20 Minuten war bei letzteren die Bleichung zwischen den Linien *D* und *E* ( $589 \mu\mu$  und  $527 \mu\mu$ ) am stärksten. „Von dem einfarbigen Lichte wirken mit abnehmender Geschwindigkeit: Grüngelb, Gelbgrün, Grün, Blaugrün, Grünblau, Cyan, Indig, Violett — später reines Gelb, Orange, viel später Ultraviolett und Rot.“ Auch Kaninchen-netzhäute werden am stärksten vom Licht zwischen *D* und *E* gebleicht. „Am auffälligsten — — scheint mir die aus den Spektralbeobachtungen hervorgehende, hocheurefreuliche Tatsache, daß dasjenige Licht, das unser Auge im Spektrum am meisten affiziert und darin das intensivste zu sein scheint, nämlich das Grüngelb auch den Sehpurpur zuerst verändert.“ Dieser Satz, welchen KÜHNE aus seinen ersten Beobachtungen folgerte, ist auch heute noch gültig, wenn auch in anderem Sinne, wie er hier aufgestellt ist. — In Gemeinschaft mit EWALD setzte KÜHNE (1) später diese Beobachtungen fort mit im wesentlichen dem gleichen Resultat. Der Anfang einer quantitativen Bestimmung der Bleichungsstärke liegt in folgendem Versuch.

Mittels des HELMHOLTZschen Doppelspaltes wurden aus einem Spektrum des Sonnenlichts reines Grün und reines Blau (Wellenlängen nicht angegeben) isoliert; war der Spalt für Grün 2 mm breit, der für Blau 3 mm, so wirkte Grün deutlich stärker bleichend; gleich schnelle Wirkung ergab sich, als die Spaltweite für Grün 1 mm, für Blau 4 mm betrug. Eine weitere Reihe von Versuchen wurde am Interferenzspektrum angestellt, wobei die gleichen Resultate erzielt wurden, wie mit dem Dispersionsspektrum. Während die bisher angeführten Beobachtungen sich auf purpurhaltige Netzhäute beziehen, wurden in folgender Weise Versuche an Lösungen angestellt. Auf einer Glasplatte waren im Spektrum kleine getrennte Tropfen einer klaren Sehpurpurlösung verteilt, welche von Zeit zu Zeit in sehr gedämpftem Tageslicht betrachtet wurden. Auch hier war wieder die schnellste Wirkung im Gelbgrün und Grün von *D* an zu konstatieren. Daran schlossen sich endlich noch Versuche über intravitale Ausbleichung mit Spektralfarben an, deren Ergebnis mit den vorigen durchaus übereinstimmt. Die Farben wurden durch einen Spalt aus einem Spektrum ausgeschnitten und durch eine Linse auf das Auge eines Frosches geworfen. Auch hier wurde wieder die Ausbleichung am schnellsten im Gelbgrün und Grün-gelb erzielt.

Abgesehen von der erwähnten Beobachtung KÜHNES wurde der erste Versuch einer quantitativen Untersuchung der Sehpurpurbleichung von HAMBURGER(2) gemacht, in der Absicht, dadurch auf indirektem Wege genauere Kenntnisse über die Absorptionsverhältnisse des Sehpurpurs zu gewinnen. Mit Hilfe eines SUGGSchen Brenners von 50 Kerzen wurde ein Spektrum von 5 cm Länge (von *A* bis *H*) hergestellt, in welchem die Netzhäute exponiert wurden. Deren Farbe wurde verglichen mit den Farbentafeln von CHEVREUL, welche die entsprechenden Farbtöne enthielten. Mit Hilfe derselben wurde festgestellt, nach welchen Zeiten an den verschiedenen Stellen des Spektrum in der Grundfarbe der Netzhaut die erste merkbare Veränderung entsteht. Es fand sich:

Für	<i>D</i>	.....	20 $\frac{1}{2}$	Stunden
"	<i>E—b</i>	.....	7 $\frac{1}{2}$	"
"	<i>b—<math>\frac{1}{2}</math>F</i>	.....	10 $\frac{1}{2}$	"
"	<i>F</i>	.....	14	"

HAMBURGER berechnete diese Zahlen weiter auf das Interferenzspektrum von gleicher Energieverteilung; für unsere Zwecke geben die reziproken Werte der Bleichungszeiten die „Bleichungswerte“ der Lichter. Sie sind für  $Na = 1$ :

$D$	1
$E-b$	2,73
$b-\frac{1}{2}F$	1,95
$F$	1,46

Es leuchtet ein, daß mit dieser Untersuchung nur ein erster Schritt in unserer genaueren Kenntnis über die Einwirkungsstärke spektraler Lichter getan ist, und daß neuere Hilfsmittel mannigfache Verbesserungen der ganzen Methodik zulassen. Ich folgte deshalb gerne der Aufforderung von Herrn Prof. v. KRIES, den Gegenstand erneut zu untersuchen und dabei vor allem eine quantitative Bestimmung der bleichenden Wirkung spektraler Lichter zu erstreben. Ich erfreute mich bei der Untersuchung der weitgehendsten Mitarbeit und Beratung meines verehrten Lehrers, besonders bei der Ausarbeitung der Methode, welche nur dadurch zur Überwindung der Schwierigkeiten geeignet wurde. Ich möchte auch an dieser Stelle mir gestatten, meinen verbindlichsten Dank dafür auszusprechen. Bei einer großen Zahl vorläufiger Versuchsreihen wurde ich in freundlichster Weise von Herrn Prof. KINGSBURY aus Ithaka U. S. A. unterstützt, welchem ich ebenfalls meinen Dank abstatten möchte; leider war eine weitere gemeinsame Fortsetzung der Arbeiten wegen seiner Rückkehr in die Heimat nicht möglich.

Da nach den theoretischen Voraussetzungen der Sehpurpur als Sehsubstanz, als Reizvermittler des Stäbchenapparates aufzufassen ist und dessen Funktion dem Dämmerungssehen zugrunde liegt, so ist es von Interesse zu wissen, wie der Reizwert spektraler Lichter im Dämmerungssehen mit der Stärke der bleichenden Wirkung derselben auf den Sehpurpur zusammenhängt. In der Untersuchung dieser Frage lag eine Hauptaufgabe vorliegender Arbeit. Zwischen den Reizwerten spektraler Lichter für das total farbenblinde Auge und der Absorptionskurve des menschlichen Sehpurpurs hat KÖNIG (3) eine Beziehung festgestellt, auf die später noch näher eingegangen werden soll. So wertvoll das Resultat seiner Berechnung ist, so ist es doch nur gütig



unter der Voraussetzung, daß die Absorptionskurve des Sehpurpurs sich einwandsfrei ermitteln läßt. Hier stellt sich aber einstweilen noch darin eine Schwierigkeit entgegen, daß es noch nicht gelingt, völlig reine Purpurlösungen zu erhalten, sondern daß nach der Bleichung gefärbte Rester zurückbleiben, deren Absorption in Abrechnung gebracht werden muß, wenn man die Absorptionskurve des reinen Purpurs erhalten will. Dies Verfahren ist aber nur dann zulässig, wenn es sicher ist, daß in dem Restfarbstoff kein Bleichungsprodukt des Sehpurpurs vorliegt. Wenn dies auch einigermaßen wahrscheinlich ist, so ist es doch wünschenswert, direkt die Stärke der bleichenden Wirkung spektraler Lichter auf den Sehpurpur zu untersuchen. Ist es doch auch von vornherein nicht abzusehen, ob die chemische Wirkung lediglich von der Menge der absorbierten Lichtenergie abhängt, oder ob ein Teil in andere Energieformen, besonders in Wärme umgewandelt wird.

Es wird im folgenden zunächst die Stärke der bleichenden Wirkung eines Spektrallichtes auf den Sehpurpur, gemessen an der Bleichungsgeschwindigkeit, ermittelt (Abschnitt II). Wird die Bleichungsstärke auf eine für irgendein Spektrallicht angenommene Einheit bezogen, so ergibt sich für jedes andere Licht ein die Bleichungsstärke desselben angegebender Wert, der als „Bleichungswert“ desselben bezeichnet werden möge. Ein solcher Bleichungswert ist aber nur für unendlich dünne Sehpurpurschicht definierbar, weil bei endlicher Schicht ein von der Schichtdicke abhängiger Anteil des auffallenden Lichtes absorbiert wird, so daß die bleichende Lichtmenge nicht gleich der gesamten auffallenden Lichtmenge ist. Unter der Annahme, daß der chemische Erfolg der Stärke des einwirkenden Lichtes direkt proportional gesetzt werden kann, lassen sich aber aus den bei endlichen Schichtdicken beobachteten Bleichungsverhältnissen die für unendlich dünne Schichten ermitteln. Man muß nur aus der durch die Absorption bewirkten Lichtschwächung diejenigen Lichtstärken berechnen, welche auf die verschiedenen vom Licht nacheinander durchlaufenen unendlich dünnen Schichten tatsächlich einwirken. Es sei  $J$  die auf eine Lösung von der Dicke  $P$  auftreffende Lichtstärke. Ferner erfahre das Licht beim Durchgange durch die unendlich dünne Schicht  $dp$

eine Schwächung im Verhältnis von  $1 : e^{-\alpha dp}$ . Es ist dann die

durch die ganze Schicht durchgelassene Lichtstärke  $= J e^{-\alpha P}$ , ein Wert, der mit  $\delta$  bezeichnet werde und der sich direkt bestimmen läßt. Unter diesen Umständen wird nun die chemische Wirkung des Lichtes nicht derjenigen Stärke proportional zu setzen sein, mit der es auf die vordere Grenze der Lösung auftrifft, sondern derjenigen, mit der es durchschnittlich in der ganzen Schicht tatsächlich vorhanden ist, d. h. dem Werte

$$\frac{1}{P} \int_0^P e^{-\alpha p} dp.$$

Dieser Wert sei  $c$ . Er stellt also einen Koeffizienten dar, mit dem wir die auftreffende Lichtstärke multiplizieren müssen, um die tatsächlich zur Einwirkung gelangende Lichtstärke zu erhalten. Sind  $c_1$  und  $c_2$  diese Koeffizienten für zwei Lichter, und erhalten wir für diese bei endlicher Schichtdicke ein Verhältnis der Bleichungswerte von  $\frac{B_1}{B_2}$ , so werden die Lichter für unend-

lich dünne Schicht ein Bleichungswertverhältnis von  $\frac{B_1}{B_2} \cdot \frac{c_2}{c_1}$ ,

haben. Der Wert  $\frac{1}{P} \int_0^P e^{-\alpha p} dp$  ergibt sich aus der direkt

zu beobachtenden Schwächung des Lichtes in der ganzen angewandten Schicht. Es ist nämlich

$$\frac{1}{P} \int_0^P e^{-\alpha p} dp = \frac{1}{\alpha P} (1 - e^{-\alpha P}) = \frac{1 - \delta}{\ln \delta}.$$

Eine weitere Schwierigkeit ergibt sich freilich daraus, daß mit dem Fortschreiten der Bleichung ja auch die Absorptionen sich dauernd ändern, also jene zur Umrechnung dienenden Koeffizienten dauernd andere Werte erhalten. Wie sich trotzdem die Umrechnungen mit genügender Genauigkeit durchführen lassen, wird weiter unten besprochen.

Die Bleichungswerte sind dann den theoretischen Vorstellungen gemäß mit den Dämmerungswerten des gleichen Spektrum zu vergleichen. Sind diese durch den Sehpurpur vermittelt, so müssen sie ebenfalls, entsprechend den besprochenen

Verhältnissen, von der Menge des vom Licht im Auge durchgesetzten Sehpurpurs abhängen. Tatsächlich unterliegen sie im Verlauf der Adaptation einer Änderung, welche ganz im Sinne der theoretischen Erwartung liegt. Auf diese Beziehungen wird im folgenden noch zurückzukommen sein.

Während die Bestimmung der Dämmerungswerte im Abschnitt III enthalten ist, werden des weiteren Messungen über die Lichtabsorption im Sehpurpur und ihre Beziehungen zu den Dämmerungswerten behandelt.

Die Hauptresultate der vorliegenden Arbeit wurden in einer vorläufigen Mitteilung im „Zentralblatt für Physiologie“ (17, 720—723) veröffentlicht.

## II. Bleichung des Sehpurpurs.

Die vorliegende Methode der quantitativen Bestimmung des Bleichungsverlaufs unter dem Einfluß verschiedener monochromatischer Lichter ergab sich nach zahlreichen Vorversuchen, die ich füglich übergehen kann, Versuche, in denen nicht nur die Grundzüge der Methode, sondern auch die einzelnen Hilfsmittel die mannigfachste Veränderung und Verbesserung erfuhren.

War das theoretisch geforderte Ziel eine Feststellung der Einwirkungsstärke von Licht verschiedener Wellenlänge und ein quantitativer Vergleich derselben für die einzelnen Lichter, so war damit die Aufgabe gestellt, die in der Zeiteinheit umgesetzten Mengen festzustellen, oder, was auf dasselbe hinauskommt, die nach Belichtung von bestimmter Dauer noch vorhandene Menge des unzersetzten Stoffes. Es liegt auf der Hand, daß diese Quantitätsbestimmung einstweilen nur auf kolorimetrischem oder spektrophotometrischem Wege erfolgen konnte. Wir wählten die letztere Methode, welche unzweifelhaft den Vorteil größerer Genauigkeit hat. Bei dem Zusammenhang zwischen Lichtabsorption und Konzentration einer Lösung ist durch die Bestimmung der Lichtabsorption und ihrer Änderung im Verlaufe der Bleichung mittelbar die Konzentrationsänderung gegeben.

Zur Spektrophotometrie diente der große HELMHOLTZsche Farbenmischapparat mit eingefügtem LUMMERSchen Prisma. Durch dieses wurden die vom Kollimator II kommenden Strahlen als Mittelfeld in den vom Kollimator I gelieferten

Farbenring verlegt. Die GröÙe des Gesamtfeldes betrug  $2^\circ$ . Die Kollimatoren wurden bei Nullstellung der Doppelspate auf die gewünschte Spektralfarbe eingestellt und bei feststehendem Spalt I Helligkeitsgleichheit mittels Spalt II hergestellt. Dann wurde die Sehpurpurlösung in den gleich zu beschreibenden Trögen in den Gang der durch den LUMMERSchen Fleck gehenden Lichtstrahlen gebracht und durch erneute Einstellung von Spalt II Helligkeitsgleichheit hergestellt. Aus beiden Einstellungen ergibt sich die von der Sehpurpurlösung absorbierte Lichtmenge in einfacher Weise. Eine spezielle Einrichtung war erforderlich, um den Trog mit Genauigkeit rasch in den Gang der Lichtstrahlen des Kollimator II vor den LUMMERSchen Fleck zu bringen. Zu diesem Zweck war an dem Stativteil, welcher gewöhnlich für die KÖNIGSche Anordnung zur Beimischung unzerlegten Lichtes dient, eine Schlittenführung angeschraubt, auf welche der Trog mit der Sehpurpurlösung fest aufgeschoben werden konnte. Durch die Schlittenführung, welche senkrecht zum Gang der Lichtstrahlen lief, wurde der Trog gegen diese geschoben, bis ein Anschlag ihn genau vor dem Fleck fixierte. Die Innenbreite des Troges von 4 mm war so gewählt, daß sie den Fleckdurchmesser nur eben übertraf. Es wurden drei Einstellungen mit vorgeschobener Purpurlösung gemacht, nach jeder wurde der Trog aus dem Lichtbündel zurückgeschoben, um unnötige Belichtung zu vermeiden. Vor und nach den drei Troeinstellungen wurden je drei Einstellungen ohne Trog notiert und aus allen 6 das Mittel in Rechnung gezogen. Dies war erforderlich, weil beide Kollimatoren von eigenen Lampen erleuchtet wurden und geringe Helligkeitsschwankungen nicht auszuschließen waren. Daß durch die in den Bleichungsverlauf eingeschalteten Absorptionsbestimmungen und die dabei unvermeidlichen Belichtungen keine merkliche Bleichung erfolgte, ist weiter unten näher gezeigt. Bemerkenswert ist noch, daß die Absorptionsbestimmungen immer bei tunlichst geringer Lichtstärke (geringer Weite des Spalts am Kollimator I) vorgenommen wurden.

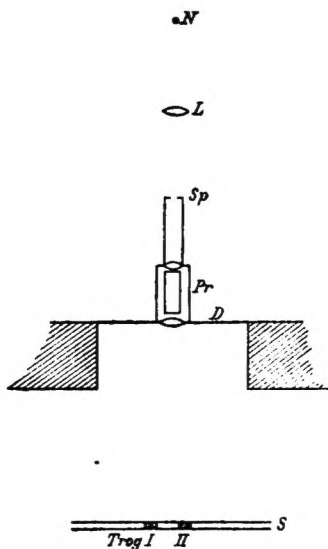
Die Versuchsanordnung für die Bleichungen ist in Figur 1 angegeben. Ein gradsichtiger Spektralapparat mit dem Prima *Pr* und dem Spalt *Sp* war in ein zwischen zwei Zimmern befindliches Diaphragma *D* lichtdicht eingepaßt. Ein achromatisches Linsensystem *L* entwarf von dem glühenden

Stäbchen der Nernstlampe *N*, deren Mattglocke entfernt war, ein nahezu objektgroßes Bild auf den Spalt *Sp*; das durch das Prisma *Pr* entworfene Spektrum fiel in die Ebene des Skalenstabes *S*, auf welchem sich zwei Schieber befanden, die auf dem Skalenstab längsverschiebbar waren, und auf welche die mit der Sehpurpurlösung gefüllten Tröge fest aufgeschoben werden konnten. Es war dafür gesorgt, daß die (annähernd horizontalen) strichförmigen Schatten, welche die um das glühende Stäbchen liegende Heizspirale im Spektrum erzeugt, nicht auf die Lösung projiziert wurden; letztere befand sich vielmehr vollständig im Intervall zwischen 2 derartigen Schatten.

Die Spaltweite *Sp* wurde so gewählt, daß einerseits ein Spektrum von genügender Intensität in der Skalenebene entworfen wurde, andererseits das Bild des Nernststäbchens die Spaltränder genügend übergriff. Die Spaltbreite, welche diese Bedingungen erfüllte, betrug 0,36 mm, ihre Projektion in der Skalenebene 1,8 mm. Das Spektrum wurde durch Bestimmung der Natrium- und Thalliumlinie, sowie der violetten Heliumlinie von  $446 \mu\mu$  (letztere nach TSCHERMAK (13) geacht, für die

zwischenliegenden Skalenteile wurde nach der Formel  $S = A + \frac{B}{\lambda^2}$  interpoliert. Die Breite des Spektrum betrug von  $589 \mu\mu$  bis  $446 \mu\mu$  69,6 mm. Auf die beiden Schieber, welche, wie gesagt, auf dem Skalenmaßstab längsverschieblich sind, waren in der dazu senkrechten Richtung die geeignet gefaßten Tröge I und II leicht aufschiebbar, und zwar so, daß weder eine Verwechslung beider Tröge vorkommen konnte, noch die Skalenschieber, welche nicht zu leicht beweglich waren, eine Ortsänderung erlitten. Die zur Aufnahme der Sehpurpurlösungen bestimmten Tröge wurden uns von der Firma ZEISS-Jena an-

Fig. 1.  
Anordnung der  
Bleichungsversuche.



Maßstab 1 : 30.

gefertigt. Eine Innenplatte von 3 mm Dicke enthält einen rechtwinkligen Ausschnitt von 4 mm Breite (und 4 cm Tiefe). Auf diese Glasplatte ist beiderseits eine planparallele Glasplatte aufgekittet. Von abnehmbaren, etwa aufgeschraubten Platten sahen wir außer wegen der schwierigen Dichtung hauptsächlich deshalb ab, weil vollständig gleiche Dicke beider Tröge ein Haupterfordernis war. Für die Dicke der Innenplatte, durch welche die Schichtdicke der Sehpurpurlösung gegeben war, waren folgende Gesichtspunkte maßgebend. Während einerseits die Absorptionsbestimmung bei größerer Schichtdicke genauer ausführbar ist, wie bei kleinerer, war andererseits die Bleichung nach Möglichkeit an einer dünnen Schicht vorzunehmen, um damit die Versuchsbedingungen den Verhältnissen am menschlichen Auge möglichst zu nähern. Der Versuch, die Bleichung bei geringerer Schichtdicke vorzunehmen, als die Absorptionsbestimmung, führte aber zu keinem befriedigenden Resultat, so daß die Reduktion auf geringe Schichtdicke durch Rechnung ausgeführt werden mußte, und Bleichung und Absorptionsbestimmungen bei ein und derselben Schichtdicke vorgenommen wurden.

Eine Fehlerquelle könnte in ungleicher Erwärmung der Lösungen in den verschiedenen Spektralteilen liegen. Wurde aber, wie bei den Vorversuchen mit Froschsehpurpur festgestellt wurde, ein Trog durch einen kalten vermittels eines spitzen Glasrohrs gegen ihn gerichteten Luftstroms während der Bleichung abgekühlt, so war kein Unterschied zu konstatieren. Der Einfluß einer eventuellen verschiedenen Temperierung dürfte also in die Fehlergrenzen fallen.<sup>1</sup>

Der Gang der Versuche gestaltete sich folgendermaßen. Aus einer Glaspipette werden die Tröge mit gleicher Sehpurpurlösung (über deren Herstellung s. später) gefüllt, mit kleinen Korken zum Schutz gegen Verdunstung geschlossen und auf einer lichtdichten Unterlage mit schwarzen Papphülsen überdeckt. An der Bleichungseinrichtung wird die Lage der Natriumlinie bestimmt und der eine Schieber auf der Skala so eingestellt, daß nachher die Mitte des aufgeschobenen Troges (Trog I) an

---

<sup>1</sup> Nach NERNST (Theoretische Chemie, 4. Aufl., 1903, S. 733) steigt die Geschwindigkeit photochemischer Reaktionen zum Unterschied gegen gewöhnliche chemische Reaktionen mit zunehmender Temperatur nur sehr wenig an.



die Stelle der Natriumlinie kommt. Der andere Schieber wird so eingestellt, daß die Mitte des anderen, rechten Troges (Trog II) in ein bestimmtes anderes Licht des Spektrums fällt. Hierfür wurden gewählt  $542\text{ }\mu\mu$ ,  $530\text{ }\mu\mu$ ,  $519\text{ }\mu\mu$ ,  $509\text{ }\mu\mu$ ,  $491\text{ }\mu\mu$ ,  $474\text{ }\mu\mu$ ,  $459\text{ }\mu\mu$ , deren Abstand voneinander auf der Skala 5 bzw. 10 mm betrug. Mit dem rechten Trog noch näher an den linken heranzurücken als wie bis  $542\text{ }\mu\mu$ , war wegen der unvermeidlichen Trogränder nicht möglich. Es wurde also die Bleichung bei einem der genannten kurzwelligeren Lichter stets gleichzeitig mit einer Vergleichsbleichung im Natriumlicht ausgeführt, so daß die Bleichungswerte auf die für Natriumlicht = 1 bezogen werden konnten. Etwa auftretende Ungleichheiten der Lichtintensität der Nernstlampe zwischen den einzelnen Versuchen konnten so keinen störenden Einfluß ausüben. Es erwies sich im allgemeinen als vorteilhaft, in  $\frac{1}{2}$  stündigen Intervallen die Lichtabsorption der Sehpurpurlösungen zu bestimmen, nur bei langsam bleichenden Lichtern wurden längere Intervalle gewählt, wie des näheren aus den Tabellen ersichtlich ist. Die Belichtungszeit wurde jedesmal durch Verschluss der Öffnung zwischen beiden Zimmern abgebrochen, die Tröge bei rotem Licht abgenommen und sofort überdeckt. Nach der Absorptionsmessung wurde die Bleichungsanordnung bei rotem Licht wiederhergestellt und durch Öffnen des Schieberverschlusses die Belichtung in gleicher Weise wie vorher fortgesetzt. Eine Änderung des Ortes der Natriumlinie trat während der Versuche nie ein, nach dem Versuch oder am nächsten Tag war die Einstellung für Natrium die gleiche, wie vorher; eine Kontrolle über den Stand der Natriumlinie brauchte deshalb während des Versuchs nicht ausgeführt zu werden. Da die Absorptionsbestimmung nur Konzentrationsänderungen ermitteln soll, erscheint es von vornherein gleichgültig, bei welchem Licht die Bestimmung ausgeführt wird. Es war aber nötig, einen durch die Versuchsbedingungen bestimmt vorgeschriebenen Weg einzuschlagen, durch welchen ermöglicht wurde, die schon oben besprochene rechnerische Korrektur auf unendlich dünne Schicht auszuführen. Es war dies möglich, wenn die Lichtabsorption stets bei dem gleichen Licht bestimmt wurde, bei welchem die jedesmalige Bleichung vor sich ging. Da nun aber gleichzeitig zwei Lösungen in verschiedenen Lichtern bleichten, wurde folgendes Verfahren eingeschlagen. Es wurde sowohl für den Trog, der im Natriumlicht, als auch

für den, welcher in einem kurzwelligeren Licht exponiert war, die Absorption im Bleichungsverlauf mittels des kurzwelligeren Lichtes am Spektrophotometer bestimmt. Daneben wurde für den im Natriumlicht exponierten Trog die Absorption zu Anfang und an erforderlicher Stelle während des Bleichungsverlaufs mittels des Natriumlichtes bestimmt. Nach diesen letzteren Bestimmungen konnte dann eine Korrektur auch für die Bleichung im Natriumlicht angebracht werden. Die Komplizierung der Absorptionsbestimmung hatte natürlich einen Nachteil darin, daß mehr Zeit zwischen den halbstündigen Expositionen verstrich und daß durch die zahlreicheren photometrischen Bestimmungen die Möglichkeit einer weiteren Bleichung vermehrt wurde. Es wurden daher die Einstellungen tunlichst rasch gemacht und die Lösungen sorgfältigst vor jedem schädlichen Licht geschützt. In einem Falle (Versuch XIX) wurde das Verfahren noch ein wenig modifiziert. Das kurzwellige Licht war hier  $459 \mu\mu$ ; die Absorption ist hier schon so gering, daß die Messungsfehler zu sehr ins Gewicht fallen; um genauere Werte für den Bleichungsverlauf zu haben, wurde zunächst die Absorption bei einem dem Absorptionsmaximum nahestehenden Licht ( $509 \mu\mu$ ) bestimmt, dann für Trog I bei  $589 \mu\mu$ , für Trog II bei  $459 \mu\mu$ ; nach den ersteren Bestimmungen wurde das Zahlenverhältnis der Bleichungsgeschwindigkeit, nach den letzteren die Korrektur bestimmt. Im allgemeinen wurden die Versuche nach zweistündiger Belichtungsdauer abgebrochen, da eine weitere Verfolgung der Bleichung in den Vorversuchen keine befriedigenden Resultate gegeben hatte. Zum Schluß wurden die Lösungen im Sonnenlicht, hellen Tageslicht oder direkten Nernstlicht ganz ausgebleicht und nochmals die Absorption bestimmt.

Im folgenden seien zunächst die einzelnen Versuche, welche an Kaninchensehpurpur angestellt wurden, tabellarisch wiedergegeben. Ich übergehe alle Vorversuche an Froschsehpurpur, nach welchen noch manche Einzelheiten verbessert werden konnten, so daß den hier ausführlich mitgeteilten Reihen ein höherer Grad von Genauigkeit und Zuverlässigkeit zukommt. In den folgenden Tabellen enthält der erste Stab die Zeit in Minuten vom Beginn der Belichtung an (wo natürlich nur die Zeit der Belichtung, nicht die der Absorptionsbestimmungen mitgerechnet wurde). Die drei nächsten Stäbe enthalten die für

die betreffenden Zeitpunkte der Belichtung gültigen Absorptionswerte, Stab 2 und 3 im kurzwelligeren Licht, Stab 4 im Natriumlicht. Bemerkt sei noch, daß nicht etwa eine Auswahl des Materials, sondern alle mit Kaninchensehpurpur angestellten Versuche wiedergegeben sind, um eine Beurteilung des Grads der Genauigkeit zu ermöglichen. (Nur der erste Versuch wurde nicht wiedergegeben, weil er an einem vor längerer Zeit hergestellten und dadurch langsamer bleichenden Präparat von Kaninchensehpurpur mit weniger vollkommener Methode angestellt war; trotzdem reiht er sich befriedigend in die vorliegenden Versuche ein.)

Versuch I. Kaninchensehpurpur 21. VII. 03 a. m.  
Bleichlichter 589  $\mu\mu$  (Trog I) und 542  $\mu\mu$  (Trog II).

Zeit nach Beginn der Belichtung in Minuten	Absorptionswerte		
	bei 542 $\mu\mu$		bei 589 $\mu\mu$
	für Trog I	für Trog II	für Trog I
0	0,5087	0,5044	0,1617
30	0,4548	0,3771	
60	0,4108	0,2967	
90	0,3655	0,2043	0,1309
120	0,3330	0,1777	
Ganz gebleicht	0,1661	0,1704	

Versuch II. Kaninchensehpurpur 7. VIII. 03 a. m.  
Bleichlichter 589  $\mu\mu$  (Trog I) und 542  $\mu\mu$  (Trog II).

Zeit nach Beginn der Belichtung in Minuten	Absorptionswerte		
	bei 542 $\mu\mu$		bei 589 $\mu\mu$
	für Trog I	für Trog II	für Trog I
0	0,5388	0,5436	0,2491
30	0,4811	0,3939	
60	0,4606	0,3000	
90	0,4343	0,2544	0,2017
120	0,4064	0,2335	
Ganz gebleicht	0,2164	0,2072	

## Versuch III. Kaninchensehpurpur 16. VII. 03.

Bleichlichter 589  $\mu\mu$  (Trog I) und 530  $\mu\mu$  (Trog II).

Zeit nach Beginn der Belichtung in Minuten	Absorptionswerte		
	bei 530 $\mu\mu$		bei 589 $\mu\mu$
	für Trog I	für Trog II	für Trog I
0	0,5149	0,5182	0,1901
30	0,4603	0,3665	
60	0,4099	0,2852	
90	0,3754	0,2340	
120	0,3550	0,2174	
Ganz gebleicht	0,1708	0,1910	0,1635

## Versuch IV. Kaninchensehpurpur 18. VII. 03 a. m.

Bleichlichter 589  $\mu\mu$  (Trog I) und 530  $\mu\mu$  (Trog II).

Zeit nach Beginn der Belichtung in Minuten	Absorptionswerte		
	bei 530 $\mu\mu$		bei 589 $\mu\mu$
	für Trog I	für Trog II	für Trog I
0	0,4742	0,4742	0,1926
30	0,4221	0,3323	
60	0,3972	0,2621	
90	0,3783	0,2346	
120	0,3571	0,2205	
Ganz gebleicht	0,1852	0,1818	

## Versuch V. Kaninchensehpurpur 6. VIII. 03 p. m.

Bleichlichter 589  $\mu\mu$  (Trog I) und 530  $\mu\mu$  (Trog II).

Zeit nach Beginn der Belichtung in Minuten	Absorptionswerte		
	bei 530 $\mu\mu$		bei 589 $\mu\mu$
	für Trog I	für Trog II	für Trog I
0	0,6179	0,6139	0,2433
30	0,5532	0,4628	
60	0,5116	0,3474	
90	0,4733	0,2884	
120	0,4408	(0,2263)	
Ganz gebleicht	0,2533	0,2545	

Versuch VI. Kaninchensehpurpur 23. VII. 03 a. m.  
Bleichlichter 589  $\mu\mu$  (Trog I) und 519  $\mu\mu$  (Trog II).

Zeit nach Beginn der Belichtung in Minuten	Absorptionswerte		
	bei 519 $\mu\mu$		bei 589 $\mu\mu$
	für Trog I	für Trog II	für Trog I
0	0,6016	0,6027	0,1426
30	0,5585	0,4896	
60	0,5120	0,4252	
90	0,4790	0,3705	0,1574
120	0,4489		
Ganz gebleicht	0,2531	0,2386	

Versuch VII. Kaninchensehpurpur 23. VII. 03. p. m.  
Bleichlichter 589  $\mu\mu$  (Trog I) und 519  $\mu\mu$  (Trog II).

Zeit nach Beginn der Belichtung in Minuten	Absorptionswerte		
	bei 519 $\mu\mu$		bei 589 $\mu\mu$
	für Trog I	für Trog II	für Trog I
0	0,6055	0,6108	0,2019
30	0,5452	0,4705	
60	0,4997	0,3684	
90	0,4850	0,3686	0,1630
Ganz gebleicht	0,2635	0,2569	0,1492

Versuch VIII. Kaninchensehpurpur 6. VIII. 03. a. m.  
Bleichlichter 589  $\mu\mu$  (Trog I) und 519  $\mu\mu$  (Trog II).

Zeit nach Beginn der Belichtung in Minuten	Absorptionswerte		
	bei 519 $\mu\mu$		bei 589 $\mu\mu$
	für Trog I	für Trog II	für Trog I
0	0,6719	0,6749	0,2188
30	0,6167	0,5211	
60	0,5898	0,4360	
90	0,5335	0,3633	0,1974
120	0,4821	0,3045	
Ganz gebleicht	0,2777	0,2575	

Versuch IX. Kaninchensehpurpur 10. VIII. 03. a. m.  
Bleichlichter 589  $\mu\mu$  (Trog I) und 519  $\mu\mu$  (Trog II).

Zeit nach Beginn der Belichtung in Minuten	Absorptionswerte		
	bei 519 $\mu\mu$		bei 589 $\mu\mu$
	für Trog I	für Trog II	für Trog I
0	0,5515	0,5488	0,1648
30	0,4891	0,4051	
60	0,4402	0,3214	
90	0,3979	0,2874	0,1284
120	0,3684	0,2332	
Ganz gebleicht	0,2062	0,2043	

Versuch X. Kaninchensehpurpur 25. VII. 03. a. m.  
Bleichlichter 589  $\mu\mu$  (Trog I) und 509  $\mu\mu$  (Trog II).

Zeit nach Beginn der Belichtung in Minuten	Absorptionswerte		
	bei 509 $\mu\mu$		bei 589 $\mu\mu$
	für Trog I	für Trog II	für Trog I
0	0,5967	0,5967	0,1937
30	0,5519	0,5008	
60	0,4961	0,4101	
90	0,4106	0,3536	0,1349
120	0,3716	0,3236	
Ganz gebleicht	0,2246	0,2297	

Versuch XI. Kaninchensehpurpur 25. VII. 03. p. m.  
Bleichlichter 589  $\mu\mu$  (Trog I) und 509  $\mu\mu$  (Trog II).

Zeit nach Beginn der Belichtung in Minuten	Absorptionswerte		
	bei 509 $\mu\mu$		bei 589 $\mu\mu$
	für Trog I	für Trog II	für Trog I
0	0,5948	0,5934	0,2049
30	0,5493	0,4930	
60	0,5121	0,4052	
90	0,4756	0,3380	0,1739
Ganz gebleicht	0,2428	0,2413	



Versuch XII. Kaninchensehpurpur 4. VIII. 03. p. m.  
Bleichlichter 589  $\mu\mu$  (Trog I) und 509  $\mu\mu$  (Trog II).

Zeit nach Beginn der Belichtung in Minuten	Absorptionswerte		
	bei 509 $\mu\mu$		bei 589 $\mu\mu$
	für Trog I	für Trog II	für Trog I
0	0,6503	0,6503	0,2443
30	0,5985	0,5236	
60	0,5525	0,4013	
90	0,4993	0,3487	0,1889
Ganz gebleicht	0,2477	0,2375	

Versuch XIII. Kaninchensehpurpur 11. VIII. 03 a. m.  
Bleichlichter 589  $\mu\mu$  (Trog I) und 509  $\mu\mu$  (Trog II).

Zeit nach Beginn der Belichtung in Minuten	Absorptionswerte		
	bei 509 $\mu\mu$		bei 589 $\mu\mu$
	für Trog I	für Trog II	für Trog I
0	0,5858	0,5867	0,2019
30	0,5551	0,5102	
60	0,5113	0,4093	
90	0,4801	0,3358	0,1552
120	0,4425	0,2974	
Ganz gebleicht	0,2559	0,2600	

Versuch XIV. Kaninchensehpurpur 28. VII. 03 a. m.  
Bleichlichter 589  $\mu\mu$  (Trog I) und 491  $\mu\mu$  (Trog II).

Zeit nach Beginn der Belichtung in Minuten	Absorptionswerte		
	bei 491 $\mu\mu$		bei 589 $\mu\mu$
	für Trog I	für Trog II	für Trog I
0	0,6600	0,6610	0,2267
30	0,6317	0,6231	
60	0,5921	0,5576	0,2121
90	0,5504	0,5018	0,1987
120	0,5318	0,4522	
Ganz gebleicht	0,3327	0,3345	

Versuch XV. Kaninchensehpurpur 28. VII. 03 p. m.  
Bleichlichter 589  $\mu\mu$  (Trog I) und 491  $\mu\mu$  (Trog II).

Zeit nach Beginn der Belichtung in Minuten	Absorptionswerte		
	bei 491 $\mu\mu$		bei 589 $\mu\mu$
	für Trog I	für Trog II	für Trog I
0	0,6371	0,6353	0,1970
30	0,6080	0,6060	
60	0,5801	0,5632	
90	0,5201	0,4975	0,1464
120	0,4876	0,4712	
Ganz gebleicht	0,3589	0,3551	

Versuch XVI. Kaninchensehpurpur 4. VIII. 03 a. m.  
Bleichlichter 589  $\mu\mu$  (Trog I) und 491  $\mu\mu$  (Trog II).

Zeit nach Beginn der Belichtung in Minuten	Absorptionswerte		
	bei 491 $\mu\mu$		bei 589 $\mu\mu$
	für Trog I	für Trog II	für Trog I
0	0,6371	0,6320	0,1956
30	0,5957	0,5783	
60	0,5384	0,5238	0,1672
90	0,5013	0,4798	0,1612
120	0,4620	0,4324	
Ganz gebleicht	0,3073	0,3139	

Versuch XVII. Kaninchensehpurpur 30. VII. 03 a. m.  
Bleichlichter 589  $\mu\mu$  (Trog I) und 474  $\mu\mu$  (Trog II).

Zeit nach Beginn der Belichtung in Minuten	Absorptionswerte		
	bei 474 $\mu\mu$		bei 589 $\mu\mu$
	für Trog I	für Trog II	für Trog I
0	0,5752	0,5738	0,2164
40	0,4979	0,5107	
80	0,4451	0,4735	0,1551
120	0,3991	0,4316	0,1451
Ganz gebleicht	0,3031	0,3042	

Versuch XVIII. Kaninchensehpurpur 30. VII. 03 p. m.

Bleichlichter 589  $\mu\mu$  (Trog I) und 474  $\mu\mu$  (Trog II).

Zeit nach Beginn der Belichtung in Minuten	Absorptionswerte		
	bei 474 $\mu\mu$		bei 589 $\mu\mu$
	für Trog I	für Trog II	für Trog I
0	0,5666	0,5653	0,1765
40	0,5160	0,5307	
80	0,4696	0,4901	0,1417
120	0,4188	0,4398	0,1340
Ganz gebleicht	0,3261	0,3238	

Versuch XIX. Kaninchensehpurpur 10. VIII. 03 p. m.

Bleichlichter 589  $\mu\mu$  (Trog I) und 459  $\mu\mu$  (Trog II).

Zeit nach Beginn der Belichtung in Minuten	Absorptionswerte			
	bei 509 $\mu\mu$		bei 589 $\mu\mu$	bei 459 $\mu\mu$
	für Trog I	für Trog II	für Trog I	für Trog II
0	0,5814	0,5776	0,1717	0,4942
60	0,4783	0,5575	0,1619	0,4815
120	0,4068	0,5253	0,1429	0,4362
Ganz gebleicht	0,2819	0,2731		

Es wäre natürlich wünschenswert gewesen, die Werte für die Bleichungsgeschwindigkeiten auf streng rechnerischem Wege aus den Beobachtungen herzuleiten (vgl. die Schlussbemerkungen); hier aber glaubten wir, ein einfacheres Verfahren einschlagen zu müssen, welches besonders gelegentliche kleine Unregelmäßigkeiten im Kurvenverlauf zweckmäßiger erscheinen liefs. Es wurden nach den in Stab 2 und 3 stehenden Absorptionswerten für beide Lösungen auf Millimeterpapier in geeignetem Maßstab Kurven gezeichnet, welche die Absorptionsänderung in der Zeit darstellen. An diesen Kurven wurden die Zeiten (Abszissen) gemessen, nach welchen beide Lösungen gleiche Absorption aufwiesen; der reziproke Wert gab die Bleichungsgeschwindigkeiten, welche für diejenige im Natriumlicht = 1 angegeben werden. Für die ersten  $1\frac{1}{2}$  Stunden des Kurvenverlaufs der Natriumbleichung wurden etwa 6 solche Bestimmungen an verschiedenen Stellen ausgeführt und aus allen der Mittelwert genommen. Damit war das Verhältnis der

mittleren Bleichungsgeschwindigkeiten gegeben, im Anhang unter „unkorrigierter Mittelwert“ aufgeführt. Beträgt dieser z. B. für die Wellenlängen  $589\ \mu\mu$  und  $530\ \mu\mu$   $1:2,9$ , so ist damit gesagt, daß die durchschnittliche Bleichungsgeschwindigkeit im Licht von  $530\ \mu\mu$  das 2,9fache von der im Natriumlicht beträgt.

Die Gründe, wegen derer die so gefundenen Zahlenverhältnisse noch einer Umrechnung bedürfen, wurden zum Teil schon angedeutet, und sind hier besonders in Beziehung auf die Verhältnisse im menschlichen Auge näher auszuführen. Für den hier beabsichtigten Vergleich zwischen Bleichungswerten und Dämmerungswerten würde die Umrechnung der ersteren auf unendlich dünne Sehpurpurschicht nur dann ganz entsprechend sein, wenn auch im Auge die von einem Lichtstrahl durchsetzte Sehpurpurmenge (Schichtdicke  $\times$  Konzentration) als unendlich klein bezeichnet werden könnte. Dies ist nun jedenfalls bei hochgradiger Dunkeladaptation nicht der Fall; hier muß vielmehr, wie erwähnt, der größere Sehpurpurgelalt in bestimmter Richtung von Einfluß auf das Sehen des dunkeladaptierten Auges sein. Von großem Interesse sind hier Versuche, durch welche in Bestätigung der theoretischen Erwartungen eine Änderung der Dämmerungswerte im Adaptationsverlauf tatsächlich festgestellt wurde. STEGMANN (6) stellte unter den Bedingungen des Dämmerungsehens Gleichungen ein, beispielsweise zwischen einer orangefarbigten Umgebung und einem blaugrünen Fleck ( $480\ \mu\mu$ ). Wurden die Einstellungen bei einem geringen Adaptationsgrad begonnen und von Zeit zu Zeit wiederholt, so mußte die Menge des blaugrünen Lichts merklich vermehrt werden, um die Dämmerungsgleichung mit dem Orange aufrecht zu erhalten. Vom Standpunkt der v. KRIESSchen Theorie ist die Erscheinung leicht erklärlich. Sie faßt die zunehmende Adaptation im wesentlichen als Folge des zunehmenden Purpurgehalts der Stäbchen auf. Da das blaugrüne Licht stärker absorbiert wird, wie das orangefarbige, dessen Absorption im Sehpurpur sehr gering ist, wird bei zunehmender Sehpurpurkonzentration die mittlere einwirkende Lichtstärke für das Blaugrün erheblich stärker verringert, wie für das Orange, so daß der Dämmerungswert des ersteren dem des Orange gegenüber verkleinert wird. Man kann zur Vereinfachung annehmen, daß die Absorption im Orange verschwindend klein ist, im Vergleich zu der im Blau-

grün; dann wird der Konzentrationsgrad des Sehpurpurs ohne Einfluß sein auf den Dämmerungswert des Orange. Unter dieser Näherungsannahme kann man aus den Werten der Tabelle II der zitierten Arbeit berechnen, daß die Dämmerungswerte des blaugrünen Lichts sich am Anfang und am Ende der Versuche durchschnittlich verhalten wie 1 : 0,75. Die mittlere einwirkende Lichtmenge ging also auch im Verlauf des Versuchs von 1 auf 0,75 zurück. Diese Überslagsberechnung möge zeigen, daß der Einfluß der Sehpurpurkonzentration im Auge wenigstens bei hochgradiger Dunkeladaptation aller Wahrscheinlichkeit nach keineswegs unterschätzt werden darf. Da dennoch im folgenden die Umrechnung der Bleichungswerte auf unendlich dünne Schicht vorgenommen wurde, ist im Auge zu behalten, daß dies eher eine Überkorrektur bedeutet.

Bei der Umrechnung genügt es nicht, für den Beginn des Versuchs die der durchgelassenen Lichtmenge entsprechende mittlere einwirkende Lichtstärke zu bestimmen. Denn diese nimmt, wie oben schon angedeutet wurde, im Verlauf der Bleichung zu. Die Sehpurpurlösung werde durch ein Licht von  $530 \mu\mu$  Wellenlänge gebleicht; die Absorption betrage zu Anfang 0,6; dann wird von der auffallenden Lichtmenge 1 nur 0,4 die Lösung verlassen. Während also die Seite der Lösung, welche der Lichtquelle zugekehrt ist, von der Lichtmenge 1 gebleicht wird, wirkt auf die Schicht an der Austrittsstelle nur 0,4 derselben Lichtmenge ein. Die durchschnittlich einwirkende Lichtmenge beträgt dabei etwa 0,65. Nach 1stündiger Bleichung betrage die Lichtabsorption nur noch 0,4, die durchgelassene Lichtmenge wäre also 0,6, die durchschnittlich einwirkende Lichtmenge ungefähr 0,78 von der gesamten auffallenden. (Der Lichtverlust durch Reflexion bleibt hier unberücksichtigt.) Trotz konstanter Lichtquelle nimmt also die Belichtungsstärke während eines Versuches zu, sobald die Bleichung an einer Schicht von endlicher Dicke ausgeführt wird. Um diesen Einfluß durch Rechnung zu beseitigen, wurde zunächst aus den Absorptionswerten des Anfangs der Versuche die mittlere einwirkende Lichtstärke berechnet (nach obiger Formel  $c = \frac{1-\delta}{l n \delta}$ , wobei  $\delta$  die von endlicher Schicht durchgelassene Lichtmenge,  $c$  die mittlere einwirkende Lichtmenge bedeutet), dann dasselbe für denjenigen Absorptionswert, der am Ende der zur Ausrechnung benutzten

Kurvenstrecke gültig war. Aus den beiden für die mittlere einwirkende Lichtstärke gefundenen Werten, den für den Versuchsanfang und den für bestimmte spätere Zeit gültigen, wurde das Mittel genommen und definitiv der Umrechnung zugrunde gelegt. Diese Rechnungen wurden für die Lösung, welche im Natriumlicht und die, welche im kurzwelligeren Licht bleichte, getrennt ausgeführt. Die Umrechnungen sind in den Tabellen des Anhangs enthalten.

Nachfolgende Tabelle I enthält eine Zusammenstellung der korrigierten Werte, nach den bleichenden Lichtern geordnet, sowie die Mittelzahlen. Wie ersichtlich, sind die einzelnen Werte durch einen trennenden Strich in zwei Gruppen geteilt; hierfür war der Umstand maßgebend, daß nur ein Teil der Werte, und zwar die über dem Strich befindlichen, für die gleiche Nernstlampe festgestellt werden konnte, wie die Dämmerungswerte,

Tabelle I.

Zusammenstellung der Bleichungswerte des Nernstlicht-Dispersionsspektrum für Kaninchensehpurpur.

Wellenlänge . . . .	589 $\mu\mu$	542 $\mu\mu$	530 $\mu\mu$	519 $\mu\mu$	509 $\mu\mu$	491 $\mu\mu$	474 $\mu\mu$	459 $\mu\mu$
Einzelwerte . . . .	1	3,30	3,46	3,48 a	2,75 b	1,845 c	1,00 d	0,299 e
	1	3,51 g	3,60	3,13 a	3,10 b	1,54 c	0,95 d	
	1		3,80 g	3,89 g	3,29 f	1,68 f		
	1			3,30 e	3,20 e			
Mittelwerte . . .	1	3,40	3,62	3,45	3,00	1,69	0,975	0,299
Mittelwertedermit Nernstlampe I angestellten Ver- suche . . . . .	1	3,30	3,53	3,31	2,93	1,69		
Mittelwertedermit Nernstlampe II angestellten Ver- suche . . . . .	1	3,51	3,80	3,60	3,25	1,68	0,975	0,299

Anm.: Die mit gleicher Lösung angestellten Versuche sind mit gleichen Buchstaben (a, b, c etc.) bezeichnet.

Die mit Nernstlampe I angestellten Versuche (gleiche Lampe wie bei den Dämmerungswerten) stehen über dem starken Strich.



weil das Stäbchen der Nernstlampe infolge längerer Benützung sprang. Da nicht gewiß ist, ob die andere Lampe qualitativ genau gleich brannte, nahm ich diese Trennung der Werte vor, um so mehr, als die mit der letzteren Lampe festgestellten im allgemeinen etwas höher sind, als die vorigen. So finden die Abweichungen der für die einzelnen Wellenlängen gültigen Werte wohl zum Teil eine Erklärung. In der Tabelle sind ferner noch unter den Zahlenwerten Buchstaben angebracht; sie bezeichnen die Versuche, bei welchen die verwendeten Lösungen der gleichen Stammlösung entnommen werden konnten. Nicht besonders bezeichnete Werte wurden in Versuchen gewonnen, bei welchen die Lösung nur zu einem Bleichungsversuch verwendet wurde.

### **III. Dämmerungswerte für das Dispersionsspektrum des Nernstlichts.**

Wie schon in der Einleitung erwähnt, waren die im vorhergehenden ermittelten Bleichungswerte mit den sogenannten Dämmerungswerten, den Reizwerten des farblos gesehenen lichtschwachen Spektrum für das dunkeladaptierte Auge, in Parallele zu setzen. Obwohl in letzter Zeit mehrere sehr genaue Bestimmungen dieser Werte ausgeführt wurden, konnten die schon vorliegenden Messungen doch nicht zum Vergleich mit den Bleichungsverhältnissen des Sehpurpurs herangezogen werden, weil erstere vorwiegend für das Gaslicht sowie Sonnen- und Himmelslicht bestimmt wurden, letztere für das Licht der Nernstlampe ermittelt werden mußten, da das Gaslichtspektrum nicht intensiv genug war. Am Spektrum des Nernstlichts sind zwar kürzlich von physikalischer Seite Bestimmungen von Reizschwellen gemacht worden; es kann aber kein Zweifel darüber bestehen, daß diese Feststellung der „Farbenempfindlichkeit des Auges“ keine für vorliegenden Zweck brauchbaren Resultate enthält. A. PFLÜGER<sup>(10)</sup> bestimmte im wesentlichen wohl Dämmerungswerte, um mich auch hier bekannter kurzer Bezeichnungen zu bedienen; das geht aus den näheren Angaben seiner Versuchsbedingungen hervor. Die Ergebnisse sind aber, soweit sie physiologische Fragen betreffen, mit wohlbekannten Feststellungen der neueren Zeit zu wenig vereinbar, als daß sie hier in Betracht kommen könnten. (Der rein physikalische Teil

der Untersuchung, die Feststellung der Energieverteilung im Nernstspektrum, bleibt selbstverständlich hiervon unberührt.)

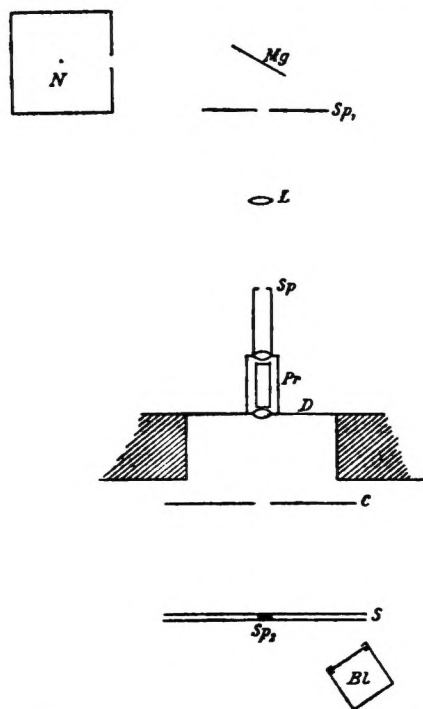
Zur Ermittlung der Dämmerungswerte des Nernstlichts hätte für vorliegenden Zweck ein indirekter Weg eingeschlagen werden können, nämlich die Berechnung aus den bekannten Dämmerungswerten des Sonnenlichts (SCHATERNIKOFF) unter Berücksichtigung der Energieverteilung im Sonnenlicht (LANGLEY) und im Spektrum des Nernstlichts (A. PFLÜGER). Es empfahl sich aber aus folgenden Gründen eine direkte Bestimmung der Dämmerungswerte des Nernstlichts. Es ist nicht nur erforderlich, daß Dämmerungswerte und Bleichungswerte der einzelnen Lichter für die Sehpurpurlösung am Spektrum der gleichen Lichtart festgestellt sind, sondern auch unter möglichst den gleichen sonstigen Versuchsbedingungen. Es kommt hier vor allem die Reinheit des Spektrum in Betracht, welche bei den Bleichungsversuchen nicht so groß genommen werden konnte, wie sie für exakte Dämmerungsbestimmungen wenigstens im mittleren Spektralbereich zu verlangen ist. Bei der vorwiegend üblichen Methode des Flecks, des konstanten Vergleichslichts und der Einstellung durch Breitenänderung des das Spektrum liefernden Spaltes ist die Reinheit des Spektrum, welche von der Spaltbreite abhängt, bei den Einstellungen an den einzelnen spektralen Orten nicht gleich, sondern um so größer, je höher der Dämmerungswert der betreffenden Lichtart ist. Es ist leicht ersichtlich, daß der Gipfelpunkt der Kurve niedriger liegt, wenn er mit weniger reinem Spektrum bestimmt wird, denn zu demjenigen homogenen Licht, welches den höchsten Dämmerungswert hat, sind Lichter von niedrigerem Dämmerungswert beigemischt. Die Bleichungswerte der einzelnen Lichter wurden nun, wie aus dem vorigen Abschnitt hervorgeht, bei konstanter nicht zu geringer Spaltweite bestimmt, also bei stets gleicher Reinheit bzw. Unreinheit des Spektrum. Deshalb war erforderlich, die Dämmerungswerte ebenfalls bei konstanter Spaltweite und zwar bei der gleichen, wie die Bleichungswerte, an möglichst derselben Versuchseinrichtung festzustellen. Den theoretischen Vorstellungen gemäß wäre es weiter am richtigsten gewesen, die Dämmerungswerte für einen möglichst geringen Adaptationsgrad, bei welchem die Konzentration bzw. Schichtdicke des Sehpurpurs im Auge als minimal angesehen werden kann, festzustellen, weil ja auch die Bleichungswerte für unendlich dünne Schicht anzugeben waren. Doch wurde auf diese

weitere Annäherung verzichtet und die Bestimmung bei mittlerem Adaptationszustand ausgeführt, wodurch die Genauigkeit der Einstellungen gewann.

Die Anordnung für die Bestimmung der Dämmerungswerte war folgende. (Fig. 2.) Der gradssichtige Spektral-

Fig. 2.

Versuchsanordnung für die Bestimmung der Dämmerungswerte.



(*N* ist von *Mg* 3,55 Meter entfernt; der Raumerparnis halber näher gezeichnet.)  
Maßstab 1 : 30.

apparat mit dem Prisma *Pr* und dem Spalt *Sp* war ebenso wie vorher in das zwischen zwei Zimmern befindliche Diaphragma *D* lichtdicht eingeschlossen. Ein Magnesiumoxydschirm *Mg* reflektierte das Licht der Nernstlampe *N* (ohne Mattglocke) durch einen in schwarzen Karton eingeschnittenen Spalt von 1,8 mm Breite (*Sp*<sub>1</sub>) auf die Linse *L*, welche das Bild jenes erleuchteten Spaltes *Sp*<sub>1</sub> auf den Spalt *Sp* entwarf, so, daß die Ränder des Bildes von *Sp*<sub>1</sub> die Ränder von *Sp* noch etwas überragten. Der

Spalt  $Sp$  war 0,36 mm breit, ebenso wie bei den Bleichungsversuchen; seine Bildprojektion in der Ebene der Skala  $S$  hatte also wieder eine Breite von 1,8 mm. Das Spektrum, dessen Breite zwischen  $589\ \mu\mu$  und  $446\ \mu\mu$  wiederum 69,6 mm betrug, wurde jenseits des Diaphragmas  $D$  in der Ebene jener Skala  $S$  entworfen, auf welcher ein senkrechter Spalt  $Sp_2$  von 1,2 mm Breite verschiebbar war; zwischen ihm und dem Spektralapparat befand sich ein verschiebbares Kartonblatt  $C$  mit kreisrunder Öffnung, durch welche man, je nach der Stellung des Spaltes  $Sp_2$ , die Linse des Spektralapparats von (annähernd) homogenem Licht bestimmter Wellenlänge erleuchtet sah. Der Karton  $C$  konnte durch eine Irisblendenlampe  $Bl$  in verschiedener Stärke beleuchtet werden. Diese Lampe bestand aus einer in Blechkasten eingeschlossenen Glühlampe, welche eine in der einen Wand des Kastens befindliche Milchglasscheibe beleuchtete. Vor derselben befand sich eine Irisblende. Die Lichtstärke der beleuchteten Milchglasscheibe mußte durch einige zwischengeschobene Papierblätter herabgesetzt werden. Da die auf den Karton  $C$  fallende Lichtmenge dem Inhalt der beleuchteten Milchglasfläche direkt proportional ist, konnten aus diesem die relativen Dämmerungswerte berechnet werden. Eine Hauptabweichung dieser Einrichtung von der für die Bleichungsversuche beschriebenen besteht zunächst darin, daß der bei den Dämmerungswertbestimmungen benutzte Spalt  $Sp_2$  nicht die gleiche Breite besitzt wie die für die Sehpurpurlösung verwendeten Tröge (1,2 mm gegen 4 mm), daß also auf das Auge mit größerer Annäherung homogenes Licht einwirkte, als auf die Sehpurpurlösung der Bleichungsversuche. Bei letzteren war es aus technischen Gründen nicht möglich, schmalere Tröge zu verwenden; die Dämmerungswerte aber mit einem Okularspalt von 4 mm Breite vorzunehmen, wurde schon deshalb unterlassen, weil der Pupillarrand leicht einen Teil des auffallenden Lichtes abgeblendet hätte, und die erwünschte Übereinstimmung doch nicht erzielt worden wäre. Eine weitere Abweichung liegt in der Unmöglichkeit, die Dämmerungswerte mit dem Spektrum des direkten Nernstlichts, selbst bei eingeschaltetem Episkotister, aufzunehmen. Die Einschaltung der Magnesiumoxydfläche schien die beste Gewähr zu bieten, daß bei verminderter Intensität die Qualität des Lichtes der Nernstlampe unverändert blieb. Die Nernstlampe war in einer Entfernung von 3,55 Meter von der Magnesiumfläche auf-

gestellt, und von einem Pappgehäuse lichtdicht umgeben; in der dem Magnesiumschirm zugewandten Fläche befand sich eine kreisrunde Blende von 11 mm Durchmesser. Durch diese wurde eine weitere Herabsetzung der Intensität in der Art bewirkt, daß der obere und untere Teil des leuchtenden Stäbchens abgeblendet wurde, und nur der mittlere als Lichtquelle diente. Die feinere Einstellung der Lichtstärke, für welche Farblosigkeit des Spektrum für das dunkeladaptierte Auge maßgebend sein mußte, konnte leicht durch Drehung der Magnesiumfläche um ihre senkrechte Achse bewirkt werden. Die Einstellungen auf Helligkeitsgleichheit von Fleck und Umgebung erfolgten durch Variierung der Weite der Irisblende; vor und nach drei Einstellungen für ein bestimmtes Licht wurden drei Einstellungen für  $589\ \mu\mu$  gemacht und die Dämmerungswerte auf  $Na = 1$  bezogen. Die erhaltenen Werte sowie die Gesamtmittelwerte sind in der folgenden Tabelle II enthalten. Es ist dabei zu erwähnen, daß die horizontal nebeneinanderstehenden Werte nicht stets der gleichen Versuchsreihe angehören. Da für jeden einzelnen Wert der Dämmerungswert des Natriumlichts in der erwähnten Weise bestimmt war und

Tabelle II.

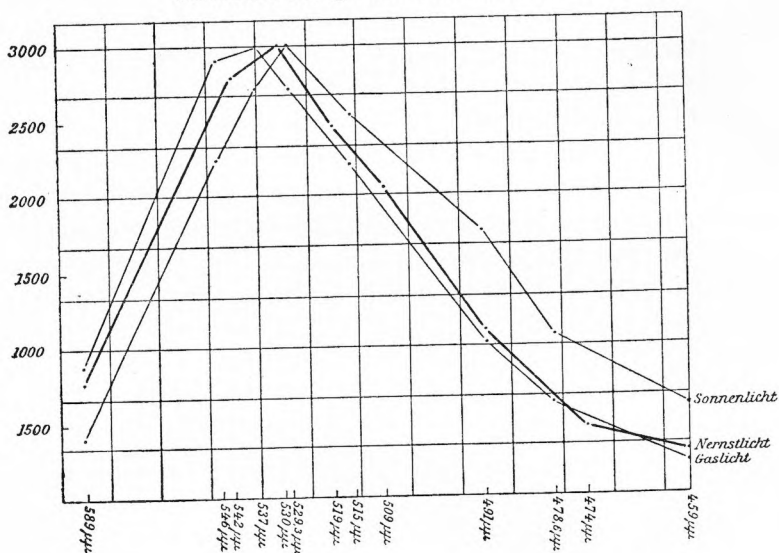
Dämmerungswerte des Nernstlicht-Spektrum,  
bezogen auf  $DW(589\ \mu\mu) = 1$ .

589 $\mu\mu$	542 $\mu\mu$	530 $\mu\mu$	519 $\mu\mu$	509 $\mu\mu$	491 $\mu\mu$	474 $\mu\mu$	459 $\mu\mu$
1	3,90	3,70	3,00	2,74	1,59	0,591	0,337
1	3,39	4,18	3,10	2,68	1,59	0,562	0,335
1	3,39	3,82	3,57	2,89	1,30	0,643	0,334
1	3,63	4,20	3,25	2,72	1,49	0,610	0,367
1	3,61	4,32	3,11	2,81	1,29	0,591	0,378
1	3,70	4,26	2,90	2,76	1,47	0,615	0,347
1	3,67	3,76	3,19	2,75	1,32	0,599	0,371
1	3,33	4,13	3,17	2,39	1,55	0,564	0,300
1	3,26	3,77	3,26	2,34	1,34	0,608	0,350
1	3,85	3,09	3,21	2,59	1,28	0,556	0,329
1	3,83	3,62				0,629	0,342
1	3,69	4,18				0,624	0,361
1	3,81	4,16				0,647	
1		3,63				0,723	
1						0,677	
1						0,702	
Mittelwerte:							
1	3,62	3,91	3,18	2,67	1,42	0,621	0,346

für alle Versuchsreihen die gleichen Bedingungen genau eingehalten wurden, ist ein Auseinanderhalten der einzelnen Werte nach den Versuchsreihen ohne Interesse. In Figur 3 sind die hier erhaltenen Dämmerungswerte für das Spektrum des Nernstlichts mit den von SCHATERNIKOFF für das Sonnenlicht und Gaslicht mit den von SCHATERNIKOFF für das Sonnenlicht und Gaslicht ermittelten zusammengestellt.

Fig. 3.

Dämmerungswerte für das Dispersionsspektrum des Sonnenlichts und Gaslichts (beides nach SCHATERNIKOFF) sowie des Nernstlichts, berechnet auf gleiche maximale Höhe.



Aus den SCHATERNIKOFFSchen Zahlen entnahm ich die Dämmerungswerte der Lichter, welche in der Nähe derjenigen liegen, für welche ich die Dämmerungswerte des Nernstlichtspektrum bestimmte. Um die Kurven auf gleichen Maßstab zurückzuführen, wurde ferner bei jeder der höchste Wert zu 3000 angenommen, und die übrigen Werte im Verhältnis 3000: x umgerechnet (vergrößert bzw. verkleinert), wo x der unmittelbar gefundene höchste Wert bedeutet. Tabelle III gibt die umgerechneten Werte für das Sonnenlicht nach SCHATERNIKOFF, und für das Nernstlicht. Wie zu erwarten, nahmen die letzteren eine mittlere Stellung ein, im langwelligen Spektralteil sind sie größer als die Dämmerungswerte des Sonnenlichts, kleiner wie die des Gaslichts, während im kurzwelligen Teil das umgekehrte statt



hat. Natürlich darf hier nicht vergessen werden, daß die Dämmerungswerte des Nernstlichts mit anderer bei vorliegendem Vergleich ungenauere Methode aufgenommen wurden. Auch möchte ich darauf hinweisen, daß nur die Dämmerungswerte der Lichter festgestellt wurden, welche für die Bleichungsversuche in Betracht kamen.

Tabelle III.

a) Dämmerungswerte für das Dispersionsspektrum des Sonnenlichts nach SCHATERNIKOFF, berechnet für  $DW. (529,3 \mu\mu) = 3000$ .

b) Dämmerungswerte für das Dispersionsspektrum des Nernstlichts, berechnet für  $DW. (530 \mu\mu) = 3000$ . (Die Werte für Gaslicht sind unmittelbar der SCHATERNIKOFFschen Tabelle I zu entnehmen.)

a)

Wellenlänge $\mu\mu$	Sonnenlicht Dämmerungswerte
589,3	410,7
546,0	2278
537,2	2684
529,3	3000
515,4	2535
490,0	1731
478,6	1078
458,7	588,7

b)

Wellenlänge $\mu\mu$	Nernstlicht Dämmerungswerte
589,3	767
542	2777
530	3000
519	2440
509	2049
491	1089,5
474	476,5
459	265,5

#### IV. Vergleich der bleichenden Wirkung spektraler Lichter mit ihren Dämmerungswerten.

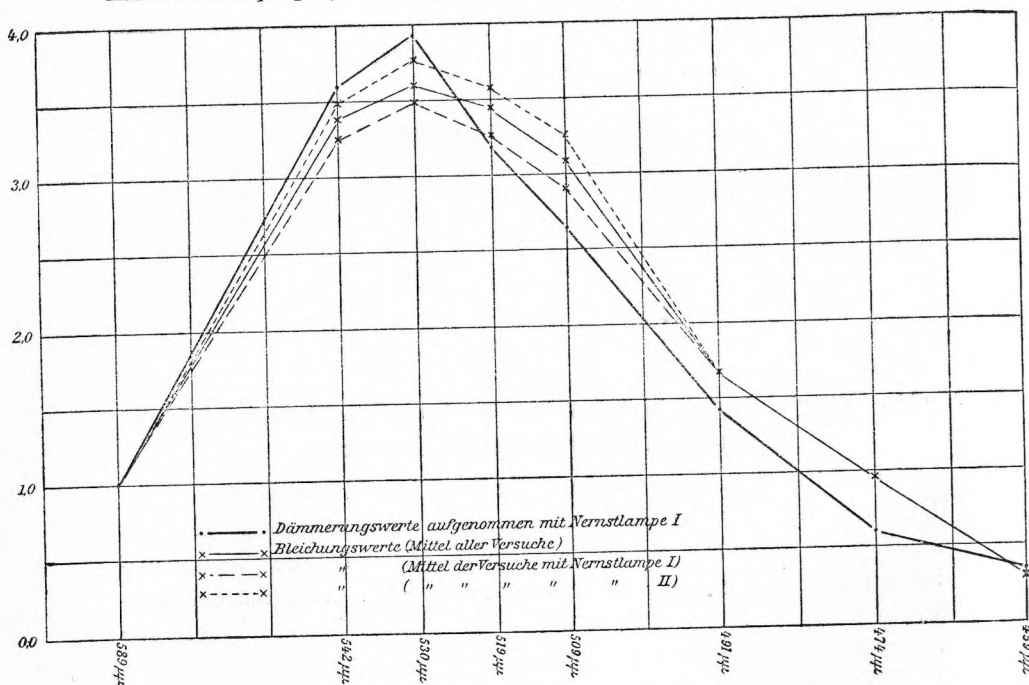
Die Resultate der beiden vorigen Abschnitte sind in den Kurven der Fig. 4 zusammengefaßt. Als Abszisse ist das Spektrum zugrunde gelegt, als Ordinaten sind die Verhältniszahlen der korrigierten Bleichungswerte bzw. der Dämmerungswerte aufgetragen, wobei in der erwähnten Weise die Werte für das Natriumlicht des Spektrum  $= 1$  gesetzt wurden. Von den Bleichungswerten wurden nicht nur die Gesamtmittelwerte eingezeichnet (mittlere Kurve), sondern auch die Mittelzahlen der mit den beiden verschiedenen Nernstlampen bestimmten Werte für sich gesondert, wofür der Grund schon oben angegeben wurde.

Über den Kurvenverlauf der Bleichungswerte verglichen mit dem der Dämmerungswerte ist folgendes hervorzuheben.

Während die Bleichungswerte bei  $542\ \mu\mu$  und  $530\ \mu\mu$  etwas kleiner sind, wie die Dämmerungswerte, erhebt sich im kurzwelligen Spektralteil die Bleichungskurve etwas über die Dämmerungskurve. Betreffs des ersteren Teils ist daran zu erinnern, daß die Bleichungswerte insofern für unreineres Spektrum bestimmt wurden, als die Trogbreite (vgl. Breite des LUMMERSchen Flecks) ca. 4 mm betrug, während der Okularspalt bei den Dämmerungswerten nur 1,2 mm breit war. Bei  $530\ \mu\mu$  wurde also nicht streng genommen die Einwirkung nur dieses Lichtes festgestellt, sondern vielmehr die mittlere Einwirkung eines

Fig. 4.

Zusammenstellung der Bleichungswerte des Nernstlichtspektrum (für Kaninchensehpurpur) mit den Dämmerungswerten desselben Lichts.



zwischen  $528\ \mu\mu$  und  $532\ \mu\mu$  liegenden Spektralbereiches. Notwendig muß sich dabei eine Abflachung des Kurvengipfels ergeben; kommen doch zu dem Licht von starker Bleichwirkung Lichter von geringerer Bleichkraft hinzu. Wäre es möglich gewesen, mit schmalere Trögen und kleinerem LUMMERSchen Fleck zu arbeiten, und dadurch die Übereinstimmung mit der

Anordnung der Dämmerungswerte zu vergrößern, so hätte der Gipfel der Bleichungskurve nur höher ausfallen können. Für den absteigenden Teil der Kurve ist hervorzuheben, daß hier die Überkorrektur durch Berechnung auf unendlich dünne Schicht weit stärker in die Waage fällt, wie im langwelligen Teil, weil das Absorptionsmaximum in der Nähe von  $509 \mu\mu$  liegt. Wenn es möglich wäre, für die dem Auge entsprechende Schichtdicke zu reduzieren, so würden diese Werte niedriger ausfallen, und es würde damit eine weitere Annäherung an die Dämmerungswerte eintreten.

Im Ganzen ist es berechtigt, in den bisher mitgeteilten Versuchen eine gute Übereinstimmung mit den theoretischen Voraussetzungen zu erblicken. Es hat sich gezeigt, daß die bleichende Wirkung spektraler Lichter auf den Sehpurpur der Wirkung derselben auf das Auge unter den Bedingungen des Dämmerungssehens mit Annäherung proportional verläuft.

## **V. Absorption des Sehpurpurs, absorbierte Energiemengen und Dämmerungswerte.**

### **a) Zur Darstellung des Sehpurpurs.**

Wenn auch im folgenden keine neuen Beiträge zur Sehpurpurdarstellung gegeben werden können, so ist doch eine genauere Erörterung schon deshalb notwendig, weil auch frühere Untersucher mit den von KÜHNE gegebenen Vorschriften nicht für alle Anforderungen genügende Resultate erzielen konnten. Nur nach genauer Kenntnis der Mängel der vorliegenden Methoden — oder jedenfalls der Schwierigkeit ihrer Handhabung, um nicht der Autorität KÜHNES vorzugreifen, — kann es möglich sein, Gesichtspunkte für eine zukünftige Verbesserung zu gewinnen.

Eine größere Anzahl vorläufiger Bleichungsversuche und Absorptionsbestimmungen wurde am Froschsehpurpur angestellt. Für diesen stehen zwei Darstellungsmethoden nach KÜHNE zur Verfügung, welche ich in der von mir verwendeten Art kurz angeben möchte. Methode I. ca. 25 Dunkelfrösche, die im Warmen gehalten sind, werden bei rotem Licht durch Rückenmarkzerstörung (Entblutung!) getötet, die Augen herausgenommen, gut in Kochsalzlösung gewaschen, halbiert, die Netzhäute möglichst pigmentfrei herausgenommen, in Gallenlösung von 2 % eingelegt.

Nach einiger Zeit wird die Flüssigkeit filtriert und zentrifugiert, vom Rückstand abgehoben und über Schwefelsäure in der Wasserstrahlluftpumpe eingetrocknet und zwar in 3 gleichen Portionen. Wurde jede darauf in ca.  $\frac{3}{4}$  ccm Wasser gelöst, so wurden Lösungen erhalten von einer für Absorptionsbestimmungen und Bleichungsversuche passenden Konzentration. Auch diese Lösung wurde zur Vorsicht zentrifugiert. Stets wurden hierdurch vollkommen klare Lösungen erhalten; Trübungen traten während der Versuche nicht ein, so daß von besonderen konservierenden Zusätzen abgesehen werden konnte. Die Lösungen sind nicht nur stets frei von Trübungen, sondern auch von Blut, wie die spektroskopische Untersuchung ergab. Hingegen zeigen sie stets nach der Ausbleichung eine mehr oder weniger starke gelbliche Färbung. Das Präparat von „Natr. glykochol. puriss.“ wurde von der Firma G. GRÜBLER geliefert; es liefs in Substanz und in Lösungen mit bloßem Auge keine Färbung erkennen.

Um die Sehpurpurlösungen besonders von Blutbeimengungen zu reinigen wurde von KÜHNE(9) für Froschsehpurpur die Magnesiumsulfatmethode angegeben (Methode II). Die nach I gewonnene nach dem ersten Zentrifugieren abgehobene Lösung wird mit reichlich überschüssigem Magnesiumsulfat gesättigt, der Niederschlag mit gesättigter Magnesiumsulfatlösung gespült und in Wasser gelöst. Wenn auch diese Lösungen ohne nennenswerten farbigen Rückstand ausbleichen, so ist ihre Brauchbarkeit dadurch beeinträchtigt, daß sie den Sehpurpur sehr wenig konzentriert enthalten. Verfährt man zu sparsam mit dem Überschufs des Magnesiumsulfats, so mißlingt die Darstellung leicht gänzlich.

Für Sehpurpur von Kaninchen u. a. gab KÜHNE(9) die Alaunmethode an (Methode III). Lösungen geeigneter Konzentration erhielt ich folgendermaßen. Drei, mehrere Stunden im Dunkeln gehaltene Kaninchen werden bei rotem Licht durch Enthaupten getötet (Entblutung!), die Augen enukleiert, am Kornealrand „halbiert“, der Glaskörper vorsichtig durch Druck entfernt. Die hinteren Bulbusabschnitte werden auf 3—4 Stunden in Alaunlösung von 4% gelegt, die Netzhäute darauf von der Chorioidea abgehoben, am Sehnerveneintritt abgeschnitten und 1 Stunde in einmal gewechseltes Wasser gelegt, worauf sie für ca. 2 Stunden in Kochsalzlösung von 10% gebracht werden. Nach Abtropfenlassen werden die Netzhäute in ca. 3 ccm 4% Gallenlösung gebracht, mit Glasstab zerrieben, die Lösung filtriert,

zentrifugiert und zusammen über Schwefelsäure eingetrocknet. Durch Auflösen in ( $\frac{3}{4}$ —) 1 ccm Wasser und nochmaliges Zentrifugieren wurden völlig klare Lösungen geeigneter Konzentration erhalten, welche sich längere Zeit klar hielten, so daß sie zu mehreren Versuchen verwandt werden konnten. Die Lösungen waren stets frei von Blut, waren hingegen ebenfalls nach dem Ausbleichen wenig gelblich gefärbt. Es gelang mir nicht, das Ergebnis KÜHNES, völlig farblose Rester, zu erzielen. KÖRTGEN und ABELSDORFF scheinen hierin nicht wesentlich glücklicher gewesen zu sein; sie geben an, mit der späteren Methode KÜHNES (III) keine wesentlich anderen Resultate erzielt zu haben, wie mit der früheren (I). In einem Falle konnten sie mittels eines KÜHNESchen Gallenpräparates eine nach Ausbleichen farblose Lösung erzielen.

#### b) Die Methode der Absorptionsbestimmungen

war hier im wesentlichen die gleiche, wie sie schon bei den Bleichungsversuchen beschrieben wurde. Es wurden wieder erst 3 Einstellungen ohne Lösung, sodann 3 mit vorgeschobener Lösung und schließlich wieder 3 ohne Lösung vorgenommen; aus den Mittelzahlen wurde die Absorption bestimmt. Nachdem diese Einstellungen für eine Reihe von Spektralfarben gemacht waren, wurden sie in umgekehrter Reihenfolge nochmals ausgeführt und nun das Mittel beider Versuchsreihen der weiteren Berechnung zugrunde gelegt. Nachdem die Lösung am Sonnen-, Tages- oder direkten Nernstlicht völlig gebleicht war, wurde wiederum in einer Doppelreihe der beschriebenen Art die Lichtabsorption bestimmt und ihr Mittelwert genommen. Aus den Absorptionswerten vor der Bleichung und nach der Bleichung waren weiter die Werte für Purpur-allein unter der Voraussetzung zu berechnen, daß der gefärbte Rest ein dem Sehpurpur fremder Bestandteil ist. Die Werte für Purpur-allein ergeben sich aus dem Verhältnis der durchgelassenen Lichtmengen vor und nach der Bleichung.

Hier sei noch erwähnt, daß zwischen den Absorptionswerten der Hinweg- und der Rückwegbestimmungen keine regelmäßigen Unterschiede in dem Sinne vorkamen, daß im Lauf der Absorptionsbestimmungen eine störende Bleichung stattgefunden hätte. Es ist also bei den für die Bleichungsversuche vorgenommenen Absorptionsbestimmungen eine fehlerhafte, während

der letzteren Bestimmungen erfolgende Bleichung um so weniger eingetreten, als dort die Absorptionsbestimmungen weniger zahlreich zu sein brauchten.

### c) Absorptionsbestimmungen.

#### 1. Natur des gelblichen Restes.

Für eine Verbesserung der Methoden der Sehpurpurdarstellung wäre es wichtig, näheres über die Herkunft und Art des lichtbeständigen gelben Farbstoffes zu wissen, der in den gebleichten Lösungen enthalten zu sein pflegt. Es seien einige Bemerkungen darüber gestattet, wenn auch einstweilen ein abschließendes Urteil noch nicht möglich ist. Es wäre natürlich irrtümlich, den gelblichen Restfarbstoff mit dem KÜHNESchen „Sehgelb“ zu identifizieren, denn dieses soll ein Zwischen- nicht ein Endprodukt der Sehpurpurbleichung sein. Trotzdem ist von vornherein die Möglichkeit nicht zu leugnen, daß die bleibende Gelbfärbung zum Teil wenigstens aus Bleichungsprodukten des Sehpurpurs besteht, wenn auch dagegen schon der Umstand spricht, daß es gelegentlich gelang, nach Bleichung farblose Lösungen zu erzielen. Ferner scheint mir gegen diese Möglichkeit eine Feststellung von KÖRTGEN und ABELSDORFF(5) zu sprechen, welche im folgenden noch näher erörtert werden soll. Bestimmten sie die Absorption von ungebleichten sowie von partiell gebleichten Lösungen und rechneten sie aus den Werten unter Abzug der Restabsorption der völlig gebleichten Lösungen die Absorption für den Purpur allein aus, so fanden sie Kurven, in welchen lediglich Konzentrationsunterschiede ausgesprochen waren. Wäre in dem gebleichten Rest ein gefärbtes Endprodukt der Sehpurpurbleichung enthalten, so wäre wohl unerklärlich, wie auf Grund einer, unter der gemachten Voraussetzung falschen Berechnung ein derartig gesetzmäßiges Verhalten resultieren könnte. Ferner müßte sich, wenn die Färbung des gebleichten Restes aus dem Sehpurpur der Lösung stammt, ein regelmäßiger Zusammenhang zwischen der Konzentration der ungebleichten Lösung und der Intensität der Restfärbung ergeben; dies läßt sich aus meinen Versuchen nicht entnehmen. Folgende Zahlen von Lösungen (Kaninchensehpurpur), von denen jede einer anderen Stammlösung entnommen ist, seien angeführt; die Absorptionswerte beziehen sich auf die Wellenlänge  $507 \mu\mu$ :



Absorptionswerte	
Ungebleicht	Gebleicht
0,5614	0,2704
0,6521	0,3014
0,6603	0,2781
0,6651	0,3179

Auch aus den Absorptionsbestimmungen, welche den Bleichungsversuchen zugrunde liegen, ist keine feste Beziehung zwischen Sehpurpurgehalt der Lösung und Intensität der Restfärbung zu entnehmen. So scheint diese auf nicht spezifischen Beimengungen zu beruhen. Sicher ist zunächst, daß es auch mit der einfachen Methode KÜHNES (I) leicht gelingt, blutfreie Lösungen zu erhalten, wenigstens konnte ich spektrophotometrisch niemals die Gegenwart von Blut nachweisen. Die Kurve der gebleichten Reste verläuft ziemlich gradlinig vom langwelligen Spektralende zum kurzwelligen ansteigend, ähnlich wie die von KÖNIG (3) mitgeteilten Restkurven. Eine ähnliche Kurve erhält man, wenn man die Lösung von Froschnetzhäuten darstellt, welche in vivo im hellen diffusen Tageslicht gebleicht wurden. Ein Teil der Gelbfärbung ist sicher auf die Gallenlösung zu setzen, selbst wenn, wie in unserem Fall, mit bloßem Auge keine Färbung zu erkennen ist. Es wurde die Absorption einer Gallenlösung bestimmt, welche ebenso behandelt war, wie Sehpurpurlösungen und mindestens ebenso konzentriert war, wie in den definitiven Sehpurpurlösungen der Methode I; sie zeigte eine nach dem Violett hin zunehmende Absorption. Es scheint mit großen Schwierigkeiten verbunden zu sein, worüber auch KÖTTGEN und ABELSDORFF berichten, streng farblose Gallenlösungen herzustellen. Da diese geringe Gelbfärbung aber allein zur Erklärung der Färbung der Rester kaum ausreicht, ist weiter an die Pigmentreste zu denken, welche nur zu leicht den Netzhäuten anhaften bleiben, sowie an die gelbgefärbten Öltropfen der Pigmentepithelien; wogegen nur zu bemerken ist, daß nach EWALD u. KÜHNE Pigment und gelbe Tropfen in Galle unlöslich sind, sowie, daß bei Kaninchen die Fettropfen in den Epithelzellen überhaupt fehlen. Da jedenfalls kein Grund vorliegt, die Gelbfärbung des Restes als Produkt des Sehpurpurs anzusehen, ist es berechtigt, die Restkurve zur Ermittlung der Kurve für



Sehpurpur allein in Rechnung zu ziehen, wie dies von KÖNIG, KÖTTGEN u. ABELSDORFF geschehen ist und auch im folgenden geschehen soll. — Da die definitiven Bleichungsversuche an Kaninchensehpurpur angestellt wurden, sollen nur für diesen Absorptionsmessungen des näheren angegeben werden.

## 2. Absorptionskurve des Kaninchensehpurpurs.

In ihrer eingehenden Bearbeitung des Sehpurpurs in der Wirbeltierreihe haben KÖTTGEN u. ABELSDORFF (5) Mittelwerte für die Absorptionskurve des Kaninchensehpurpurs angegeben. Um die Eigenschaften des von mir zu den Bleichungsversuchen verwendeten Sehpurpurs in dieser Richtung festzulegen, sei hier eine Anzahl von Absorptionsbestimmungen mitgeteilt, welche an den gleichen Lösungen angestellt wurden, wie die Bleichungsmessungen. Die einzelnen Kurven erstrecken sich nur über Teile des Spektrums, größere Reihen aufzunehmen, erschien wegen der durch eintretende Ermüdung möglichen Fehler unzumutbar. Tabelle IV enthält sechs einzelne über zum Teil

Tabelle IV.

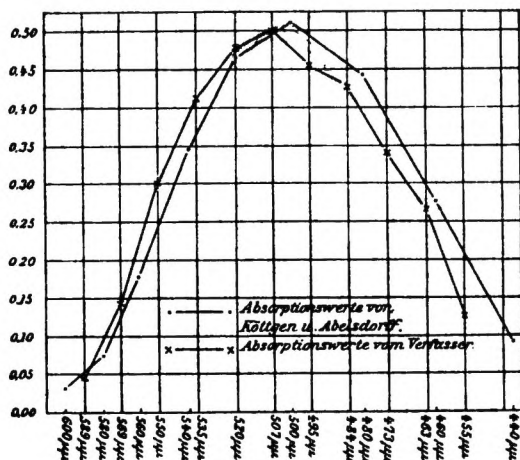
### Absorptionskurve des Kaninchensehpurpurs.

Wellenlänge  in $\mu\mu$	Mittelwerte der einzelnen Versuchsreihen (berechnet für Purpur allein)						Mittelwerte für alle auf gleiche Konzentration umgerechnete Versuchsreihen
	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	
589	0,0268	0,0456	0,0624	0,0593			0,0483
569	0,1294			0,1651			0,1472
550	0,3139	0,2849	0,2815	0,2793			0,3011
535	0,4055			0,4245			0,4150
520	0,4629	0,4308	0,4517	0,5077			0,4783
507	0,5020	0,4734	0,4765	0,5090	0,5524	0,5294	0,5012
495		0,4004	0,4329		0,5067	0,5116	0,4535
484					0,4701	0,4708	0,4244
473	0,3408	0,2806	0,3026		0,3944	0,3909	0,3357
463					0,2938	0,2933	0,2606
455		0,1106	0,1355				0,1340

verschiedene Regionen des Spektrum sich erstreckende Versuchsreihen, sowie die aus diesen nach Umrechnung auf gleiche Konzentration erhaltenen Mittelwerte. Fig. 5 zeigt eine Zusammen-

stellung dieser Mittelwerte mit den von KÖTTGEN und ABELSDORFF für Kaninchensehpurpur angegebenen. Eine besondere Be-

Fig. 5.  
Absorptionskurve des Kaninchensehpurpurs.



sprechung verlangen Tabelle V und VI. In diesen Versuchen sind nicht nur in der besprochenen Weise die Absorptionswerte vor und nach der Bleichung aufgenommen worden, sondern dazwischen noch einmal nach kurzer Bleichung im diffusen Tageslicht. In ähnlicher Weise haben KÖTTGEN und ABELSDORFF eine große Anzahl von Versuchen angestellt, um damit die Frage nach der Existenz des Sehgelbs zu entscheiden. Das Sehgelb, welches nach KÜHNE als Zwischenprodukt der Sehpurpurbleichung

Tabelle V und VI.

Kaninchensehpurpur, Absorptionskoeffizienten,  
berechnet für Purpur-allein.

Tabelle V.

Wellenlänge μμ	Ungebleicht	6 Sekunden gebleicht
507	0,5294	0,3682
495	0,5116	0,3540
484	0,4708	0,3356
473	0,3909	0,2867
463	0,2933	0,2065

Tabelle VI.

Wellenlänge μμ	Ungebleicht	5 Sekunden gebleicht
507	0,5524	0,4416
495	0,5067	0,4190
484	0,4701	0,3927
473	0,3944	0,3166
463	0,2938	0,2201

aufzufassen ist, müßte offenbar der Absorptionskurve einen anderen Verlauf, einen anderen Gipfelpunkt geben, weil an Stelle des zersetzten Sehpurpurs Stoffe treten, welche das kurzwellige Licht stärker absorbieren, wie der Sehpurpur selbst. Es zeigte sich nun, daß die Absorptionskurven des ungebleichten und des partiell gebleichten Purpurs keine qualitativen Unterschiede zeigten, woraus KÖTTGEN und ABELSDORFF schlossen, daß die Sehpurpurbleichung nur eine Konzentrationsabnahme des Stoffes ohne Auftreten farbiger Zwischenprodukte darstellt. Ich kann mich nach den vorgelegten Nachprüfungen dieser Meinung nur anschließen. Durch folgende Berechnung (Tab. VII) kann man näher feststellen, mit welcher Genauigkeit die Werte für ungebleichte und partiell gebleichte Lösungen nur auf Konzentrationsunterschiede hinweisen. Wenn  $k$  die Ausgangskonzentration ist,  $k'$  die Konzentration des übrigbleibenden Purpurs nach teilweiser Bleichung,

so ist  $k' = \frac{\log J'}{\log J}$ , wenn  $k = 1$  gesetzt wird. Hierbei bedeutet

$J$  die vom ungebleichten Purpur durchgelassene Lichtmenge,  $J'$  die nach teilweiser Bleichung vom Sehpurpur durchgelassene. Wendet man die Formel für die einzelnen Punkte der Absorptionskurven an, so muß ein konstantes  $k'$  herauskommen. Die Tabelle VII zeigt, daß dies mit Annäherung der Fall ist.

Wenn hiermit hervorgehoben werden muß, daß die Existenz von Sehgelb nicht erweisbar ist, so gilt dies zunächst nur für die nach den üblichen Methoden hergestellten Lösungen. Für die purpurhaltigen Netzhäute selbst kann natürlich die bloße Besichtigung keine Entscheidung über Vorhandensein von Sehgelbbildung geben; anhaftende Pigmentreste, Blut-

Tabelle VII.  
a) (Vgl. Tabelle V.)

Wellenlänge $\mu\mu$	Durchlässigkeitskoeffizienten für Purpur - allein		$\frac{\log J'}{\log J} (=k')$
	$J$ Ungebleicht	$J'$ 6 Sekunden gebleicht	
507	0,4706	0,6318	0,609
495	0,4884	0,6450	0,612
484	0,5292	0,6644	0,642
473	0,6091	0,7133	0,681
462	0,7067	0,7935	0,666

## b) (Vgl. Tabelle VI.)

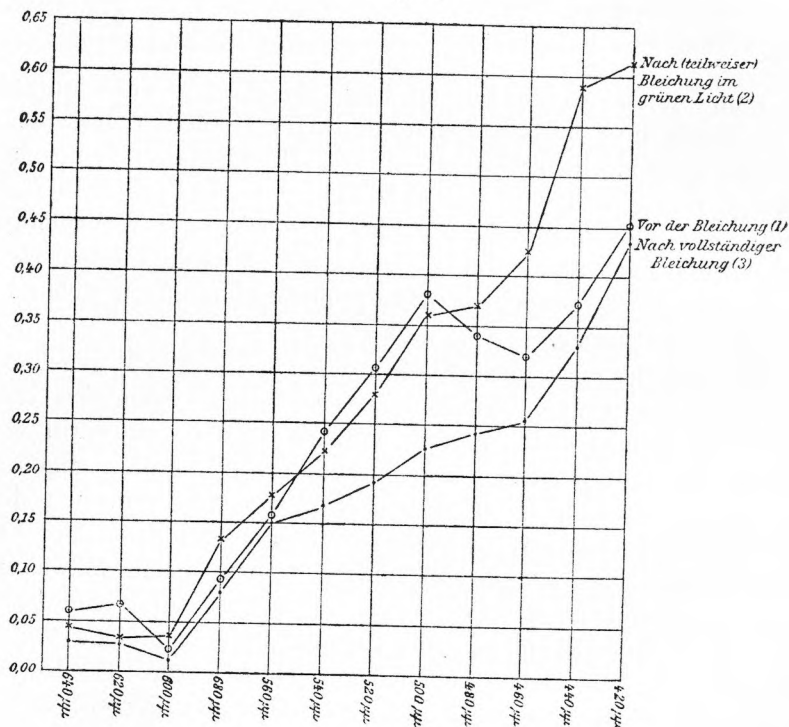
Wellenlänge $\mu\mu$	Durchlässigkeitskoeffizienten für Purpur-allein		$\frac{\log J'}{\log J} (=k)$
	$J$ Ungebleicht	$J'$ 5 Sekunden gebleicht	
507	0,4476	0,5584	0,725
495	0,4933	0,5810	0,768
484	0,5299	0,6073	0,785
473	0,6056	0,6834	0,759
463	0,7062	0,7799	0,715

reste und ähnliches können zu leicht Anlaß von Täuschungen sein. Auch hier müssen feinere optische Methoden ausschlaggebend werden. Ein Beginn ist von HAMBURGER (2) gemacht, welcher durch Vergleich der Netzhautfarbe mit Farbtafeln feststellte, daß monochromatisches Licht verschiedener Wellenlänge die gleichen Farbenänderungen hervorruft. Vielleicht ließen sich durch mikrospektrometrische Absorptionsbestimmungen sicherere Aufschlüsse erhalten.

Es erübrigt noch, einen Blick auf die von KÖNIG (3) gegebene Kurve des aus dem menschlichen Sehpurpur angeblich entstehenden Sehgelbs zu werfen, und zu prüfen, ob darin ein Beweis für die Existenz des gelben Zwischenproduktes gegeben ist. KÖNIG bestimmte an einem Teil der von ihm aus der menschlichen Netzhaut dargestellten Sehpurpurlösung die Absorption zunächst vor der Bleichung, sodann nach (teilweiser) Bleichung im grünen Spektrallicht ( $\lambda > 520 \mu\mu$ ) und schließlich nach gänzlicher Bleichung. Zur Veranschaulichung diene Fig. 6, die nach den KÖNIGSchen Tabellen gezeichnet wurde. Die Durchlässigkeitskoeffizienten sind in Absorptionskoeffizienten umgeschrieben. Die vor jeder Bleichung erhaltenen Werte sind in der KÖNIGSchen Tabelle I unter „Vor der Bleichung. Zweite Füllung“ zu finden; die Werte nach der Bleichung im grünen Licht in Tabelle II unter „Vor der Bleichung“ (d. h. vor der vollständigen Bleichung), und schließlich die Werte nach völliger Bleichung auch des „Sehgelbgemisches“ in Tabelle II unter „Nach der Bleichung“. (Die für das „Sehgelbgemisch“-allein berechneten Werte wurden in die Figur der besseren Übersicht wegen nicht aufgenommen.) Die Figur gibt also eine Übersicht über den Verlauf der Bleichung nach den beobachteten Werten.

Es zeigt sich, daß die Kurve nach teilweiser Bleichung (Kurve 2) vor 640—500  $\mu\mu$  zum Teil über, zum Teil unter der vor der Bleichung gültigen Kurve 1 liegt, und man kann sich des Ein-drucks nicht erwehren, als ob dies zum Teil auf Beobachtungs-unsicherheit beruht; dann pflegt weiter im Violett die Be-obachtungsschwierigkeit bedeutend zuzunehmen. Doch es ist immer mißlich, an den Resultaten eines ausgezeichneten Forschers

Fig. 6.



Nach KÖNIG<sup>3</sup> Tab. I und II.

Kritik zu üben, welcher so früh seinem Wirken und zugleich seiner Rechtfertigung entrissen wurde, und so sei es dahingestellt, ob die Kurven für die Existenz von Sehgelb beweisend sind. Daß die Lösungen von Kaninchen- und Affensehpurpur ohne Bildung von Sehgelb bleichen, ist durch KÖTTGEN und ABELSDORFF ganz sicher bewiesen. Würde nun der menschliche Purpur abweichend davon bei der Bleichung Sehgelb bilden, so müßte er wohl von ganz abweichender Beschaffenheit sein. Wie wäre

aber dann die von den genannten Autoren aufgedeckte Übereinstimmung der Absorptionskurven von Kaninchen-, Affen- und Menschensehpurpur erklärlich? Allein schon vom entwicklungstheoretischen Standpunkt aus erschiene ferner eine so fundamentale Verschiedenheit nicht verständlich.

#### d) Absorbierte Energien und Dämmerungswerte.

Für die Kenntnis der Bedeutung des Sehpurpurs ist eine Berechnung von großer Wichtigkeit, die KÖNIG (3) in der erwähnten Arbeit ausführte. Er verglich die spektrale Helligkeitsverteilung für den Totalfarbenblinden, mit welcher die für den Dichromaten und Trichromaten bei „minimalster Intensität“ übereinstimme, mit der spektralen Absorptionsverteilung des Sehpurpurs. Dafür war es nötig „die spektralen Helligkeitswerte sowohl für das Sehen der Totalfarbenblinden wie auch für die Reizschwelle auf ein Spektrum zu beziehen, welches mit gleichmäßiger Energieverteilung die den Sehpurpur enthaltende Schicht erreicht, nachdem es also vorher die Linse und das Pigment der Macula lutea passiert hat“. Der Berechnung auf gleichmäßige Energieverteilung wurden die Messungen von P. S. LANGLEY zugrunde gelegt; die Absorption in der Linse (Alter 55 Jahre) und in der Macula lutea wurde in Rechnung gezogen, die Absorptionskoeffizienten wurden für eine dem Sehpurpur im Auge entsprechende Schichtdicke umgerechnet. Auf diese Weise festgestellt, stimmten die Kurve der Reizwerte bei totaler Farbenblindheit, der Helligkeitswerte für die Reizschwelle (Dämmerungswerte) und der Absorptionsverteilung des Sehpurpurs gut überein. Hieraus schloß KÖNIG, daß die Absorption des Sehpurpurs den Reizwerten der Lichter geringer Intensität (Dämmerungswerten) proportional ist.

Dieses wichtige Ergebnis scheint mir in seiner Bedeutung nicht genügend gewürdigt worden zu sein. Vielleicht ist dies darauf zurückzuführen, daß andere Ergebnisse der gleichen KÖNIGSchen Arbeit nicht unwidersprochen bleiben konnten; die Identifizierung der Sehgelbkurve mit der „Verteilung der Blauwerte“ führten KÖNIG zur Annahme der Blaublindheit der Fovea, welche als irrtümlich erwiesen wurde. Vollständig unberührt bleibt aber davon die von KÖNIG nachgewiesene Übereinstimmung der Sehpurpurabsorptionskurve (unter Berücksichtigung der Energieverteilung) mit den Dämmerungswerten und den Reiz-

werten für den Totalfarbenblinden. Wenn auch, wie ich annehmen muß, die KÖNIGSche Sehgelbkurve nicht den tatsächlichen Verhältnissen entspricht, so liegt andererseits nicht der geringste Grund vor, an der Richtigkeit seiner Absorptionskurven für Sehpurpur zu zweifeln.

Wenn im folgenden an anderem Material ein entsprechender Vergleich angestellt wurde, so ist nicht verkannt worden, daß die besondere Bedeutung der KÖNIGSchen Feststellung in ihrer Gültigkeit für menschlichen Sehpurpur liegt. Es erscheint aber nicht unberechtigt, auch die Absorptionskurve von Kaninchensehpurpur heranzuziehen, da, wie erwähnt, durch die Untersuchung von KÖTTGEN und ABELSDORFF die völlige Übereinstimmung der Absorption des menschlichen Sehpurpurs mit der anderer Warmblüter, speziell auch des Kaninchens nachgewiesen ist. Ich lege im folgenden die von mir oben mitgeteilte Absorptionskurve des Kaninchensehpurpurs zugrunde. Anstatt die Dämmerungswerte umzurechnen, zog ich es vor, aus den Absorptionswerten des Sehpurpurs die von ihm absorbierten Energiemengen festzustellen. Ich benutzte hierzu die von KÖNIG(4) gegebene Tabelle der Energieverteilung im Dispersionsspektrum des Gaslichtes, nach welcher ich für die Wellenlängen der Sehpurpurabsorptionskurve interpolierte. Um größere Annäherung an die Verhältnisse im Auge zu erzielen, wurden die Absorptionswerte auch für unendlich dünne Schicht berechnet, für welche sie dem Wert  $-\log J$  proportional sind (wo  $J$  die von endlicher Schicht durchgelassene Lichtmenge bedeutet). Die absorbierten Energiemengen wurden nun sowohl für die auf unendlich dünne Schicht umgerechneten Absorptionswerte, sowie für die ursprünglichen bestimmt, weil die Schichtdicke, bzw. Konzentration des Sehpurpurs im Auge jedenfalls nicht unendlich dünn, aber auch geringer als diejenige, der zur Absorptionsbestimmung verwendeten Lösung ist. Während betreffs des ersteren Punktes auf frühere Erörterungen hingewiesen werden kann, läßt sich letzteres leicht durch eine Überschlagsberechnung dartun, die ähnlich von KÖNIG ausgeführt wurde. Aus dem früher Gesagten geht hervor, daß die Lösungen Purpur von 6 Netzhäuten in ca. 1000 cmm Wasser enthielten. Die Schichtdicke bei der Absorptionsbestimmung betrug 3 mm; mit der Lösung hätte also eine Fläche von 333 qmm 3 mm hoch bedeckt werden können. In dieser Schicht wäre aber der Sehpurpur von 6 Netzhäuten enthalten gewesen, der



Purpur nur einer Netzhaut würde also in vorliegender Lösung die Fläche von 333 qmm nur 0,5 mm hoch bedecken können. Nimmt man nun zur Vereinfachung an, die verwendete Netzhautfläche des Kaninchenauges wäre gerade 333 qmm (ein Wert, der zu niedrig ist, so daß die Rechnung a fortiori gültig wird), so hätte die Absorption der Lösung bei einer Schichtdicke von nur 0,5 mm bestimmt werden müssen. Daraus geht hervor, daß die Purpurkonzentration im Auge (gleiche Schichtdicke vorausgesetzt) geringer war und daß der richtige Wert zwischen dem für die vorliegende Lösung direkt gefundenen und dem für unendlich dünne Schicht berechneten liegen muß. Hier ist nur vorausgesetzt, daß die Sehpurpurkonzentration im Kaninchenauge und Menschenauge annähernd gleich, in letzterem jedenfalls nicht viel größer ist. Auch dies läßt sich mit Hilfe der Königschen Angaben zeigen. KÖNIG'S Lösung absorbierte bei 500  $\mu\mu$  0,200, die meinige bei 507  $\mu\mu$  0,5012; da nun einerseits bei der letzteren die nur einer Netzhaut entsprechende Konzentration  $\frac{1}{6}$  der verwendeten sein würde, andererseits KÖNIG in nur 500 cmm Wasser löste, also in der Hälfte der von mir angewandten Menge, und eine Schichtdicke von 4 mm verwendete, gegen 3 mm bei meinen Versuchen, so muß der Absorptionswert 0,5012 für eine  $\frac{2 \cdot 4}{6 \cdot 3}$  mal kleinere Konzentration umgerechnet werden, um einen direkten Vergleich zu ermöglichen. Für diese Konzentration wäre die Absorption des Kaninchen-sehpurpurs 0,2659, gegen 0,200 des menschlichen Purpurs. Es ist also die Konzentration des Sehpurpurs im Kaninchenauge eher größer, als im menschlichen Auge anzunehmen. Schliesslich sei bei dieser Gelegenheit erwähnt, daß sich die Sehpurpurkonzentration im Kaninchenauge zu derjenigen in den von mir verwendeten Lösungen (bei Annahme gleicher Schichtdicke) etwa wie 1 : 7 verhält, wobei die zur Darstellung verwendete Netzhautfläche zu ca. 400 qmm berechnet ist; allzu große Genauigkeit kann diese Angabe schon wegen der verschiedenen Größe der verwendeten Augen nicht beanspruchen. Bei den vorstehenden Berechnungen ist natürlich sowohl für das Kaninchen- wie für das Menschenauge eine gleichmäßige Verteilung des Sehpurpurs auf alle Teile der Netzhaut angenommen, die bekanntlich nicht überall vorhanden ist. Ferner ist vorausgesetzt, daß bei der Sehpurpurdarstellung kein Verlust dieses Stoffes eintritt. —

Zum Vergleich mit den Kurven der absorbierten Energien wählte ich die von SCHATERNIKOFF(11) mit sehr exakter Methode bestimmten Dämmerungswerte des Gaslichtes, nach welchen ich für die Wellenlängen der Absorptionskurven so weit nötig interpolierte. Die Werte wurden weiter zur besseren Übersicht auf gleiche maximale Höhe mit den absorbierten Energien berechnet. Von einer Berücksichtigung der Linsenabsorption konnte bei dem Alter des Autors der Dämmerungswerte abgesehen werden. Desgleichen aber glaubte ich auch von einer Einberechnung der Makulaabsorption Abstand nehmen zu müssen. Eine foveale Beobachtung ist der Natur der Sache nach ausgeschlossen, und da die Empfindlichkeit der dunkeladaptierten Netzhaut parazentral

Tabelle VIII.

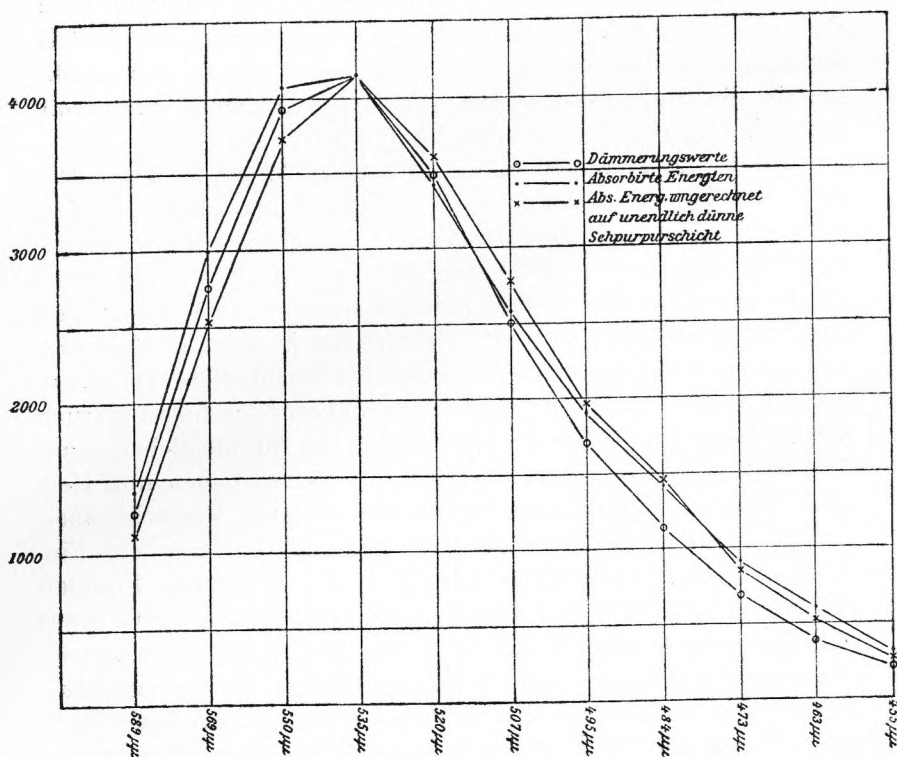
Von Sehpurpur absorbierte Energiemengen und Dämmerungswerte (Gaslicht).

Wellenlänge in $\mu\mu$	Absorptionskoeffizienten für Kaninchensehpurpur (= A)	Energiewerte des Gaslichtspektrum (nach KÖNIG interpoliert) (= E)	Absorbierte Energiemengen berechnet für Kaninchensehpurpur (= E · A · 10000)	$-\log J$ ( $J = 1 - A$ )	Von unendlich dünner Schicht absorbierte Energiemengen (= $-\log J \cdot E \cdot 10000$ )	$-\log J \cdot E$ auf gleiche maximale Höhe mit E · A berechnet	Dämmerungswerte für Gaslicht (nach SCHATERNIKOFF interpoliert), für gleiche maximale Höhe mit E · A umgerechnet
589	0,0483	2,923	1412	0,0215	628,4	1120	1247
569	0,1472	2,033	2993	0,0692	1407	2508	2721
550	0,3011	1,360	4095	0,1556	2116	3772	3936
535	0,4150	1,000	4150	0,2328	2328	4150	4150
520	0,4783	0,720	3444	0,2826	2035	3627	3456
507	0,5012	0,519	2601	0,3021	1568	2795	2560
495	0,4535	0,409	1855	0,2624	1073	1913	1709
484	0,4244	0,334	1418	0,2399	801,3	1428	1141
473	0,3357	0,269	903,1	0,1776	477,7	851,6	688,3
463	0,2606	0,222	578,5	0,1311	291,0	518,8	393,2
455	0,1340	0,189	253,3	0,0625	118,1	210,6	226,3

erheblich wächst, ist es naturgemäß gegeben, die Dämmerungswerte an mehr oder weniger peripheren Netzhautteilen zu bestimmen, an Teilen, an welchen die Makularingierung nicht mehr in nennenswerter Weise in Betracht kommen kann. Tabelle VIII enthält die, wie beschrieben, berechneten Werte, nach denen Fig. 7 gezeichnet ist. Die weitgehende Übereinstimmung der Kurven der absorbierten Energiemengen und der Dämmerungswerte ist ohne weiteres einleuchtend. Betrachtet man des

Fig. 7.

Zusammenstellung der durch Kaninchensehpurpur absorbierten Energiemengen (für Gaslicht) mit den Dämmerungswerten (nach SCHATERNIKOFF, für Gaslicht), auf gleiche maximale Höhe berechnet.



näheren zunächst die Strecke zwischen 589  $\mu\mu$  und 520—507  $\mu\mu$ , so findet man hier die Kurve der Dämmerungswerte zwischen den beiden Kurven der absorbierten Energien, der für endliche und der für unendlich dünne Schicht, ein Verhalten, welches

vollkommen den theoretischen Erwartungen entspricht. Nur im kurzwelligen Spektralteil liegt die Kurve der Dämmerungswerte ein wenig tiefer wie die der absorbierten Energiemengen. Es sei dazu nur bemerkt, daß eine Mitberücksichtigung schwacher Makulathingierung (an ihrer Grenze) den Unterschied noch verringert haben würde. Soviel läßt sich mit Sicherheit sagen, daß die Kurven der Dämmerungswerte und der vom Sehpurpur absorbierten Energiemengen mit großer Annäherung identisch sind, ein Ergebnis, welches im besten Einklang mit der Hypothese über die Bedeutung des Sehpurpurs für das „Dämmerungssehen“ steht. Die Reizwerte der vom dunkeladaptierten Auge farblos gesehenen spektralen Lichter hängen von den Energiemengen ab, welche dem Sehpurpur des Auges von den einzelnen Lichtern zugeführt werden, indem die Menge der absorbierten Lichtenergie die Stärke der Zersetzung des Sehpurpurs und damit den Reizwert für die Stäbchen bestimmt.

Durch die Energiemessungen, welche A. PFLÜGER am Dispersionsspektrum des Nernstlichts ausgeführt hat, ist die Möglichkeit gegeben, eine analoge Berechnung wie für die Dämmerungswerte des Gaslichts auch für die des Nernstlichts zu geben. Es würde allerdings nicht ohne weiteres angehen, die früher mitgeteilten Werte zu benutzen; diese waren ja, um die Versuchsbedingungen der Bleichungen möglichst einzuhalten, bei einem weniger reinen Spektrum bestimmt, während es hier natürlich darauf ankommt, solche heranzuziehen, die für möglichst reines Spektrum gültig sind. Im Beginn der Arbeiten haben nun Herr Prof. KINGSBURY und ich solche Werte in neun Versuchsreihen bestimmt, in welchen ersterer beobachtete, letzterer die Einstellungen und Ablesungen besorgte. In folgenden Punkten wich die Einrichtung von der oben beschriebenen ab. Die etwas seitlich von der Verlängerung der Längsachse des Spektralapparats stehende Nernstlampe beleuchtete eine hinten geschwärzte Glasplatte; diese reflektierte das Licht auf eine vor dem Spalt *Sp* in einer Kapsel befindliche kleine Magnesiumoxydfläche, von welcher aus der Spalt beleuchtet war. Der Kartonschirm *C* wurde durch eine mehrere Meter entfernte kleinbrennende „Pulsampe“ konstant beleuchtet; die Einstellung auf Helligkeitsgleichheit erfolgte durch Variierung der Breite des Spaltes *Sp*, welche mittels Schnurlaufs vom Beobachter selbst vorgenommen wurde. Für die ein-

zelenen Wellenlängen wurden je 3 Einstellungen hintereinander gemacht, deren Mittelwert genommen wurde. Bei diesen Versuchen wurde nicht, wie bei den oben mitgeteilten vor und nach den 3 Einstellungen einer bestimmten Farbe die Einstellung für Natriumlicht gemacht, so daß nicht ganz die gleiche Sicherheit gegen etwaige geringe Schwankungen der Beleuchtung gegeben war; auch diente nicht, wie bei den Untersuchungen von SCHATERNIKOFF, die das Spektrum liefernde Lichtquelle zugleich als Vergleichslicht. Wir können deshalb für diese Dämmerungswerte nicht den Grad der Genauigkeit der SCHATERNIKOFFSchen beanspruchen.

Die Resultate der Berechnung sind etwas gekürzt in Tabelle IX enthalten, die in Teil I der Tabelle VIII völlig entspricht, also ohne weiteres verständlich sein dürfte.

Im Teil II der Tabelle IX sind die Dämmerungswerte für Nernstlicht enthalten. Es wurden nur für 8 verschiedene Wellenlängen die Werte bestimmt. Es wäre deshalb nicht zweckmäßig gewesen, für alle Wellenlängen der Sehpurpurabsorptionskurven

Tabelle IX.

I. Von Sehpurpur absorbierte Energiemengen des Nernstlichtspektrum.

Wellenlänge $\mu\mu$	Absorptionskoeffizienten für Kaninchensehpurpur (= A)	Energiewerte des Nernstlichtspektrum, nach A. Prüfers inter- poliert, für $\lambda 535 = 100$ berechnet (= E)	Von Sehpurpur absorbierte Energie- mengen (= A · E · 100)	Desgleichen für unend- lich dünne Schicht u. auf gleiche maximale Höhe wie voriges berechnet
589	0,0483	232,1	1121	889,6
569	0,1472	177,4	2611	2188
550	0,3011	131,2	3949	3638
535	0,4150	100,0	4150	4150
520	0,4783	73,81	3530	3718
507	0,5012	55,34	2773	2980
496	0,4535	42,18	1913	1973
484	0,4244	32,12	1363	1374
473	0,3357	23,93	803,2	757,5
463	0,2606	18,20	474,2	425,2
455	0,1340	14,26	191,0	158,8

## II. Dämmerungswerte des Nernstlichtdispersionsspektrum (KINGSBURY und Verf.; Beobachter KINGSBURY).

Wellenlänge $\mu\mu$	Mittelwerte der 9 Versuchsreihen für $DW. 535 \mu\mu = 4150$ berechnet
589	932
557	3240
535	4150 (interpoliert)
530	4357
509	2916
491	1449
474	713
459	277
445	110

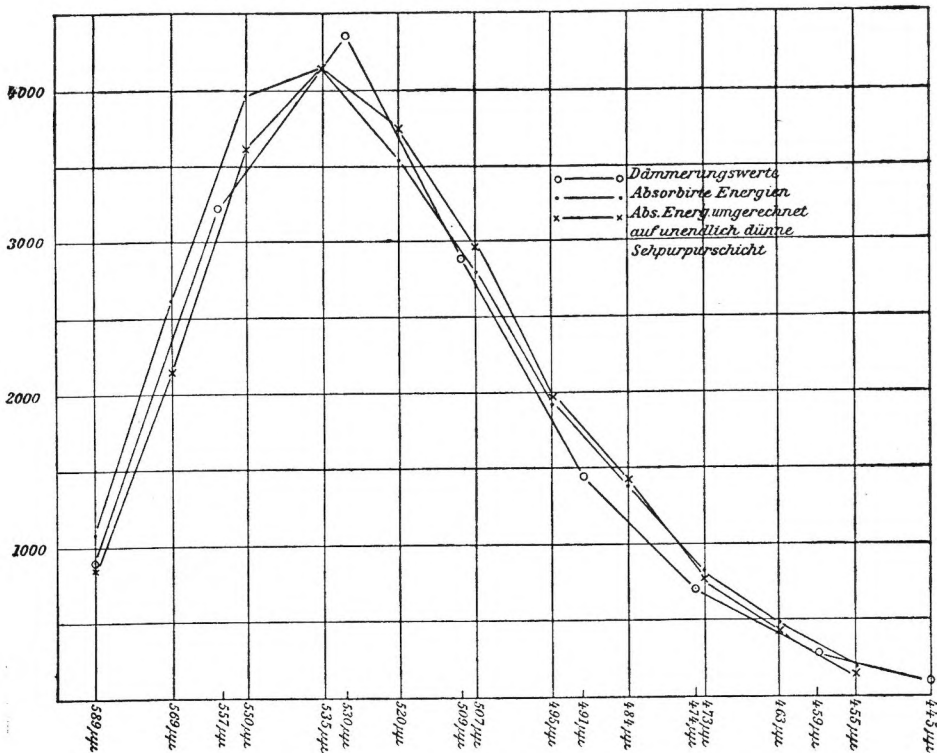
zu interpolieren, da die Interpolation nur dann Näherungswerte liefert, wenn die zur Interpolation dienenden Werte nahe beieinander liegen. Es wurde deshalb nur der Wert für  $535 \mu\mu$  interpoliert, um mit Hilfe dessen die Kurve wieder auf dieselbe maximale Höhe 4150 bei  $535 \mu\mu$  umrechnen zu können. Fig. 8 gibt die Zusammenstellung der absorbierten Energiemengen und Dämmerungswerte des Nernstlichts. Auch hier zeigt sich im allgemeinen die gleiche gute Übereinstimmung, welche schon der vorige Vergleich ergeben hatte. Im besonderen liegen auch hier wieder die Dämmerungswerte im kurzwelligen Spektralteil etwas tiefer wie die Kurve der absorbierten Energien (vgl. bei 491 und  $474 \mu\mu$ ). Auch hier könnte vielleicht wieder in geringem Grade der Einfluss der Makulatingierung in ihren Randteilen mitspielen. (Weniger gut ist die Übereinstimmung am Gipfelpunkt, welcher vielleicht für die Dämmerungswerte etwas zu hoch gefunden wurde.) Im ganzen wird die schon oben gezogene Schlusfolgerung auch durch diesen zweiten Vergleich bestätigt.

Hat sich somit ergeben, daß sowohl die quantitative Untersuchung des Bleichungsverlaufs als auch die nochmalige Verfolgung der Absorptionsverhältnisse des Sehpurpurs unter Berücksichtigung der Energieverteilung im Spektrum in vollem Einklang mit der Hypothese über die Bedeutung des Sehpurpurs für das Dämmerungssehen stehen, so ist auf Grund der vorliegenden Resultate noch eine kurze Beleuchtung anderer Ansichten über die Funktion dieses Stoffes nötig. Ausser einigen

rein spekulativen theoretischen Anschauungen liegt aus neuester Zeit eine näher begründete Hypothese von SIVÉN u. v. WENDT (12) vor. Diese Autoren schreiben dem Sehpurpur auf Grund von Versuchen über die Santoninwirkung auf das Auge eine ganz andere Rolle zu; der Sehpurpur soll nach ihnen die Empfindung

Fig. 8.

Zusammenstellung der durch Kaninchensehpurpur absorbierten Energiemengen (für Nernstlicht) mit den Dämmerungswerten (für Nernstlicht), berechnet auf gleiche maximale Höhe.



des Violett vermitteln. Nach den Resultaten der vorliegenden Arbeit ist dies aber recht unwahrscheinlich. Ist doch schon bei 459  $\mu\mu$ , im Blau-Violett, die Lichtwirkung auf den Sehpurpur nur  $\frac{1}{4}$  von der des Natriumlichtes, wonach allein schon der Sehpurpur als durchaus ungeeignet erscheint, die Empfindung gerade des kurzwelligen Spektralteils zu vermitteln.



Wenn die vorliegenden Untersuchungen eine weitere Stütze für eine bestimmte Hypothese enthalten, so bin ich mir wohl bewußt, daß ihnen keineswegs jeder nur erreichbare Grad von Genauigkeit zukommt. Besonders wäre eine exaktere physikalisch-chemische Behandlung der Bleichungen wünschenswert. Es lag nahe, den Versuch zu machen, aus den vorliegenden Messungen des Bleichungsverlaufs Reaktionskonstanten für die einzelnen Bleichlichter zu berechnen und aus ihnen die Stärke der Bleichungswirkung zu entnehmen. Ich habe diese Rechnungen für viele der Versuche durchgeführt, indem ich die Absorptionskurven zunächst in Konzentrationskurven umrechnete und dann unter Voraussetzung einer monomolekularen Reaktion die Reaktionskonstante ermittelte. Im allgemeinen zeigte sich, daß letztere im Bleichungsverlauf abnahm; es wäre möglich, dies auf eine Regeneration des Purpurs aus den Bleichungsprodukten (reversible Reaktion) zurückzuführen, welche nach KÜHNE nicht nur an epithelfreien Netzhäuten, sondern auch an Lösungen erfolgen soll. Im ganzen waren aber die Resultate nicht konstant genug, um sichere Schlüsse zu erlauben, so daß ich auf diese Verhältnisse nicht näher eingehen will.

### Anhang:

#### Umrechnung

der Bleichungswerte auf unendlich dünne Schicht des Sehpurpurs.

Versuch I. Bleichlichter 542 und 589  $\mu\mu$ .

Unkorrigierter Mittelwert 1:2,7.

Einwirkende mittlere Lichtstärke für

a) 542  $\mu\mu$

0,718 zu Anfang

0,797 nach  $\frac{1}{2}$  Stunde

0,7575 als Mittel für die benutzte Kurvenstrecke in Rechnung gezogen.

b) 589  $\mu\mu$

0,916 zu Anfang

0,938 nach  $1\frac{1}{2}$  Stunden

0,9245 Mittel.

$$\frac{1}{2,7} \cdot \frac{0,7575}{0,9245} = \frac{1}{3,30}$$

Versuch II. Bleichlichter 542 und 589  $\mu\mu$ .

Unkorrigierter Mittelwert 1:2,94.

Einwirkende mittlere Lichtstärke für

a) 542  $\mu\mu$

0,691 zu Anfang

0,786 nach  $\frac{1}{2}$  Stunde

0,7385 Mittel.

b) 589  $\mu\mu$

0,869 zu Anfang

0,895 nach  $1\frac{1}{2}$  Stunden

0,882 Mittel.

$$\frac{1}{2,94} \cdot \frac{0,7385}{0,882} = \frac{1}{3,51}$$

Versuch III. Bleichlichter 530 und 589  $\mu\mu$ .

Unkorrigierter Mittelwert 1:2,9.

Einwirkende mittlere Lichtstärke für

a) 530  $\mu\mu$

0,709 zu Anfang

0,803 nach  $\frac{1}{2}$  Stunde

0,756 Mittel.

b) 589  $\mu\mu$

0,901 zu Anfang (da in diesem Versuch nach  $1\frac{1}{2}$  Stunden keine Absorptionsbestimmung bei 589  $\mu\mu$  ausgeführt wurde, ist nur der am Anfang gefundene Wert in Rechnung gezogen worden. Der korrigierte Wert 3,46 ist also eher etwas zu niedrig).

$$\frac{1}{2,9} \cdot \frac{0,756}{0,901} = \frac{1}{3,46}$$

Versuch IV. Bleichlichter 530 und 589  $\mu\mu$ .

Unkorrigierter Mittelwert 1:3,1.

Einwirkende mittlere Lichtstärke für

a) 530  $\mu\mu$

0,737 zu Anfang

0,823 nach  $\frac{1}{2}$  Stunde

0,780 Mittel.

b) 589  $\mu\mu$

0,900 zu Anfang

0,911 nach  $1\frac{1}{2}$  Stunden

0,9055 Mittel.

$$\frac{1}{3,1} \cdot \frac{0,780}{0,9055} = \frac{1}{3,60}$$

Versuch V. Bleichlichter 530 und 589  $\mu\mu$ .

Unkorrigierter Mittelwert 1:2,96.

Einwirkende mittlere Lichtstärke für

a) 530  $\mu\mu$

0,645 zu Anfang

0,744 nach  $\frac{1}{2}$  Stunde

0,6945 Mittel.

b) 589  $\mu\mu$

0,872 zu Anfang

0,910 nach  $1\frac{1}{2}$  Stunden

0,891 Mittel.

$$\frac{1}{2,96} \cdot \frac{0,6945}{0,891} = \frac{1}{3,80}$$

**Versuch VI. Bleichlichter 519 und 589  $\mu\mu$ .**

Unkorrigierter Mittelwert 1:2,6.

Einwirkende mittlere Lichtstärke für

**a) 519  $\mu\mu$** 0,653 zu Anfang0,727 nach  $\frac{1}{2}$  Stunde

0,690 Mittel.

**b) 589  $\mu\mu$** 0,926 zu Anfang0,919 nach  $1\frac{1}{2}$  Stunden (die Absorptionsbestimmung bei 589  $\mu\mu$ 

0,9225 Mittel.

weist nach  $1\frac{1}{2}$  Stunden einen etwas höheren Wert auf wie anfangs, ohne daß sich nachträglich der Grund mit Sicherheit feststellen ließe. Der eventuelle Korrekptionsfehler ist jedenfalls nur gering).

$$\frac{1}{2,6} \cdot \frac{0,690}{0,9225} = \frac{1}{3,48}$$

**Versuch VII. Bleichlichter 519 und 589  $\mu\mu$ .**

Unkorrigierter Mittelwert 1:2,4.

Einwirkende mittlere Lichtstärke für

**a) 519  $\mu\mu$** 0,647 zu Anfang0,739 nach  $\frac{1}{2}$  Stunde

0,693 Mittel.

**b) 589  $\mu\mu$** 0,894 zu Anfang0,916 nach  $1\frac{1}{2}$  Stunden

0,905 Mittel.

$$\frac{1}{2,4} \cdot \frac{0,693}{0,905} = \frac{1}{3,13}$$

**Versuch VIII. Bleichlichter 519 und 589  $\mu\mu$ .**

Unkorrigierter Mittelwert 1:2,97.

Einwirkende mittlere Lichtstärke für

**a) 519  $\mu\mu$** 0,600 zu Anfang0,761 nach 1 Stunde

0,6805 Mittel.

**b) 589  $\mu\mu$** 0,886 zu Anfang0,898 nach  $1\frac{1}{2}$  Stunden

0,892 Mittel.

$$\frac{1}{2,97} \cdot \frac{0,6805}{0,892} = \frac{1}{3,89}$$

**Versuch IX. Bleichlichter 519 und 589  $\mu\mu$ .**

Unkorrigierter Mittelwert 1:2,62.

Einwirkende mittlere Lichtstärke für

**a) 519  $\mu\mu$** 0,688 zu Anfang0,780 nach  $\frac{1}{2}$  Stunde

0,734 Mittel.

**b) 589  $\mu\mu$** 0,915 zu Anfang0,934 nach  $1\frac{1}{2}$  Stunden

0,9245 Mittel.

$$\frac{1}{2,62} \cdot \frac{0,734}{0,9245} = \frac{1}{3,30}$$

**Versuch X. Bleichlichter 509 und 589  $\mu\mu$ .**

Unkorrigierter Mittelwert 1:2,02.

Einwirkende mittlere Lichtstärke für

a) 509  $\mu\mu$

0,657 zu Anfang  
0,687 nach  $\frac{1}{2}$  Stunde  
0,672 Mittel.

b) 589  $\mu\mu$

0,899 zu Anfang  
0,930 nach  $1\frac{1}{2}$  Stunden  
0,9145 Mittel.

$$\frac{1}{2,02} \cdot \frac{0,672}{0,9145} = \frac{1}{2,75}$$

**Versuch XI. Bleichlichter 509 und 589  $\mu\mu$ .**

Unkorrigierter Mittelwert 1:2,38.

Einwirkende mittlere Lichtstärke für

a) 509  $\mu\mu$

0,659 zu Anfang  
0,725 nach  $\frac{1}{2}$  Stunde  
0,692 Mittel.

b) 589  $\mu\mu$

0,893 zu Anfang  
0,910 nach  $1\frac{1}{2}$  Stunden  
0,9015 Mittel.

$$\frac{1}{2,38} \cdot \frac{0,692}{0,9015} = \frac{1}{3,10}$$

**Versuch XII. Bleichlichter 509 und 589  $\mu\mu$ .**

Unkorrigierter Mittelwert 1:2,45.

Einwirkende mittlere Lichtstärke für

a) 509  $\mu\mu$

0,618 zu Anfang  
0,706 nach  $\frac{1}{2}$  Stunde  
0,6615 Mittel.

b) 589  $\mu\mu$

0,872 zu Anfang  
0,902 nach  $1\frac{1}{2}$  Stunden  
0,887 Mittel.

$$\frac{1}{2,45} \cdot \frac{0,6615}{0,887} = \frac{1}{3,29}$$

**Versuch XIII. Bleichlichter 509 und 589  $\mu\mu$ .**

Unkorrigierter Mittelwert 1:2,43.

Einwirkende mittlere Lichtstärke für

a) 509  $\mu\mu$

0,663 zu Anfang  
0,714 nach  $\frac{1}{2}$  Stunde  
0,6885 Mittel.

b) 589  $\mu\mu$

0,894 zu Anfang  
0,920 nach  $1\frac{1}{2}$  Stunden  
0,907 Mittel.

$$\frac{1}{2,43} \cdot \frac{0,6885}{0,907} = \frac{1}{3,20}$$

**Versuch XIV. Bleichlichter 491 und 589  $\mu\mu$ .**

Unkorrigierter Mittelwert 1:1,38.

Einwirkende mittlere Lichtstärke für

a) 491  $\mu\mu$

0,610 zu Anfang  
0,719 nach  $1\frac{1}{2}$  Stunden  
0,6645 Mittel.

b) 589  $\mu\mu$

0,880 zu Anfang  
0,897 nach  $1\frac{1}{2}$  Stunden  
0,8885 Mittel.

$$\frac{1}{1,38} \cdot \frac{0,6645}{0,8885} = \frac{1}{1,845}$$

Versuch XV. Bleichlichter 491 und 589  $\mu\mu$ 

Unkorrigierter Mittelwert 1:1,14.

Einwirkende mittlere Lichtstärke für

a) 491  $\mu\mu$ 

0,629 zu Anfang

0,722 nach 1 1/2 Stunden

0,6755 Mittel.

b) 589  $\mu\mu$ 

0,898 zu Anfang

0,926 nach 1 1/2 Stunden

0,9115 Mittel.

$$\frac{1}{1,14} \cdot \frac{0,6755}{0,9115} = \frac{1}{1,54}$$

Versuch XVI. Bleichlichter 491 und 589  $\mu\mu$ .

Unkorrigierter Mittelwert 1:1,26.

Einwirkende mittlere Lichtstärke für

a) 491  $\mu\mu$ 

0,631 zu Anfang

0,733 nach 1 1/2 Stunden

0,682 Mittel.

b) 589  $\mu\mu$ 

0,898 zu Anfang

0,917 nach 1 1/2 Stunden

0,9075 Mittel.

$$\frac{1}{1,26} \cdot \frac{0,682}{0,9075} = \frac{1}{1,68}$$

Versuch XVII. Bleichlichter 474 und 589  $\mu\mu$ .

Unkorrigierter Mittelwert 1:0,78.

Einwirkende mittlere Lichtstärke für

a) 474  $\mu\mu$ 

0,672 zu Anfang

0,737 nach 80 Minuten

0,7045 Mittel.

b) 589  $\mu\mu$ 

0,887 zu Anfang

0,920 nach 80 Minuten

0,9035 Mittel.

$$\frac{1}{0,78} \cdot \frac{0,7045}{0,9035} = \frac{1}{1,00}$$

Versuch XVIII. Bleichlichter 474 und 589  $\mu\mu$ .

Unkorrigierter Mittelwert 1:0,73.

Einwirkende mittlere Lichtstärke für

a) 474  $\mu\mu$ 

0,678 zu Anfang

0,727 nach 80 Minuten

0,7025 Mittel.

b) 589  $\mu\mu$ 

0,908 zu Anfang

0,927 nach 80 Minuten

0,9175 Mittel.

$$\frac{1}{0,73} \cdot \frac{0,7025}{0,9175} = \frac{1}{0,95}$$

Versuch XIX. Bleichlichter 459 und 589  $\mu\mu$ 

Unkorrigierter Mittelwert 1:0,244.

Einwirkende mittlere Lichtstärke für

a) 459  $\mu\mu$ 

0,725 zu Anfang

0,761 nach 2 Stunden

0,743 Mittel.

b) 589  $\mu\mu$ 

0,906 zu Anfang

0,916 nach 1 Stunde

0,911 Mittel.

$$\frac{1}{0,244} \cdot \frac{0,743}{0,911} = \frac{1}{0,299}$$

### Literatur.

1. A. EWALD und W. KÜHNE. Untersuchungen über den Sehpurpur. Untersuchungen aus dem physiologischen Institut der Universität Heidelberg 1, 139—218; 248—290; 370—455. 1878.
2. H. J. HAMBURGER. Staatjesrood in Monochromatisch Licht. Onderzoek. Physiol. Labor. Utrecht 11. 1—38. 1889.
3. A. KÖNIG. Über den menschlichen Sehpurpur und seine Bedeutung für das Sehen. Bericht der Berliner Akademie der Wissenschaften 21. Juni 1894. 577—598 und KÖNIG, Gesammelte Abhandlungen zur physiologischen Optik, Leipzig 1903. 338—363.
4. A. KÖNIG. Über den Helligkeitswert der Spektralfarben bei verschiedener absoluter Intensität. HELMHOLTZ-Festschrift 309—388. 1891. Gesammelte Abhandlungen 144—213.
5. E. KÖTTGEN und G. ABELSdorFF. Absorption und Zersetzung des Sehpurpurs bei den Wirbeltieren. Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorg. 12. 161—184. 1896.
6. J. v. KRIES. Über die Abhängigkeit der Dämmerungswerte vom Adaptationsgrade. Abhandlungen zur Physiologie der Gesichtsempfindungen 2, 138—151. 1902 und Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorg. 25, 225—238. 1901. Vgl. R. STEGMANN, Dissertation Freiburg 1900.
7. W. KÜHNE. Über den Sehpurpur. Untersuchungen aus dem physiologischen Institut der Universität Heidelberg 1, 15—103. 1878.
8. W. KÜHNE. Das Sehen ohne Sehpurpur. Untersuchungen aus dem physiologischen Institut der Universität Heidelberg 1, 119—138. 1878.
9. W. KÜHNE. Zur Darstellung des Sehpurpurs. Zeitschr. f. Biol. 32, 21—28. 1895.
10. A. PFLÜGER. Über die Farbenempfindlichkeit des Auges. Annalen der Physik 4. Folge, 9, 185—208. 1902.
11. M. SCHATERNIKOFF. Neue Bestimmungen über die Verteilung der Dämmerungswerte im Dispersionsspektrum des Gas- und des Sonnenlichtes. v. KRIES Abhandlungen etc. 2, 189—197. 1902 und Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorg. 29, 255—263. 1902.
12. V. O. SIVÉN und G. v. WENDT. Über die physiologische Bedeutung des Sehpurpurs. Ein Beitrag zur Physiologie des Gelb-Violettsehens. I. Mitteilung. Über die Einwirkung des Santonins auf den Gesichtssinn. Skand. Archiv f. Physiol. 14, 196—223. 1903.
13. A. TSCHERMAK. Über spektrometrische Verwendung von Helium. Pflügers Archiv 88, 95—97. 1902.

(Eingegangen am 6. August 1904.)