

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

Absorption und Zersetzung des Sehpurpurs bei den Wirbeltieren.

Von

ELSE KÖTTGEN und GEORG ABELSDORFF.

Mit 7 Figuren im Text und 4 Tabellen im Anhang.

Der Gang der Lichtstrahlen im Auge ist bisher fast nur bis an die perzipierende Schicht verfolgt worden; daher sind denn auch im wesentlichen die Verhältnisse der Reflexion und Refraktion eingehender untersucht worden, die auf diesem Wege vornehmlich in Frage kommen. Haben aber die Lichtstrahlen einmal die Netzhaut erreicht, so wird die Absorption ein wichtiger Faktor; denn die Netzhaut ist reich an farbigen Substanzen. Drei Arten von Farbstoffen sind in der Wirbeltier-netzhaut zu unterscheiden: der vor der Stäbchen- und Zapfenschicht in der Macula lutea gelegene gelbe Farbstoff, die farbigen Ölkugeln in den Innengliedern der Zapfen und der in den Außengliedern der Stäbchen enthaltene Sehpurpur. Letzterer ist durch den hohen Grad seiner Lichtempfindlichkeit und durch seine Lage von den übrigen retinalen Farbstoffen ausgezeichnet. Gerade die letzterwähnte Tatsache scheint uns weniger beachtet oder zum mindesten weniger hervorgehoben worden zu sein, als zum richtigen Verständnis seiner Bedeutung notwendig ist. Man hat von der entoptischen Wahrnehmung des Sehpurpurs wie von jeder anderen entoptischen Erscheinung gesprochen. Stellt man sich aber auf den Boden der jetzt herrschenden Ansicht, daß in den Stäbchen und Zapfen die perzipierenden Elemente zu suchen sind, so kann das Licht wohl an den im vorderen Teil der-

selben gelegenen farbigen Ölkugeln, aber nicht an dem Sehpurpur eine Absorption erleiden, bevor es eine erregende Wirkung ausübt. Demgemäß können die durchgelassenen Strahlen nur dann als purpurn, also gewissermaßen wie sie aussehen, empfunden werden, wenn sie reflektiert werden, nachdem sie die Stäbchen passiert haben. Nur in diesem Sinne kann man von einer entoptischen Wahrnehmung des Sehpurpurs sprechen. Da von den Pigmentzellen nur bekannt ist, daß sie den Sehpurpur regenerieren, keineswegs aber bewiesen, daß sie denselben im Leben fertig gebildet enthalten, wird man sonst dazu gedrängt, das Aufsenglied der Stäbchen noch funktionell zu differenzieren oder eine perzipierende Schicht hinter den Stäbchen und Zapfen anzunehmen. Wir heben diesen Punkt hervor, um an einem Beispiel zu zeigen, wie wichtig die Kenntnis der Absorption des Sehpurpurs ist.

Während uns sonst bei absorbierenden Medien physiologisch optisch gerade das Verhalten der durchgelassenen Strahlen beschäftigt, wendet sich beim Sehpurpur unser Interesse vor allem den absorbierten Strahlen zu. Erst nach Kenntnis der Absorption des Sehpurpurs kann die Frage gelöst werden, welchen Vorgängen die Energie der absorbierten Strahlen zu gute kommt.

Trotz der Bedeutung des Gegenstandes war eine genaue, den physikalischen Anforderungen entsprechende Bestimmung der Absorption des Sehpurpurs bisher nicht vorgenommen worden.¹ Wir glauben daher, durch Mitteilung unserer hierüber angestellten Untersuchungen eine Lücke in der physiologischen Optik auszufüllen, zumal W. KÜHNE, dem wir fast unsere ganze Kenntnis der Eigenschaften des Sehpurpurs verdanken, wiederholt auf diesen Punkt als auf ein Erfordernis, dem noch nicht genügt sei, hingewiesen hat.

Bildete zwar den äußeren Anlaß zu unserer Arbeit der neuerdings gemachte Versuch,² die Zersetzung des Sehpurpurs

¹ Die von A. KÖNIG gleichzeitig mit dem Beginn unserer Messungen ermittelten Absorptionskoeffizienten des menschlichen Sehpurpurs hat derselbe bereits in seiner Abhandlung „Über den menschlichen Sehpurpur und seine Bedeutung für das Sehen“. *Sitzgsber. d. Akad. d. Wiss. zu Berlin vom 21. Juni 1894*. S. 577, veröffentlicht.

² H. EBBINGHAUS, „Theorie des Farbensehens“. *Diese Zeitschr.* Bd. V. S. 145. 1893. — Auch separat erschienen bei L. Voss, Hamburg und Leipzig.

mit den bestehenden Farbentheorien in Zusammenhang zu bringen, so ist doch die Arbeit selbst lediglich experimenteller Natur und erhebt nur den Anspruch, die materielle Basis für die Theorie des Sehens zu erweitern. Da KÜHNES Beobachtungen auf das Vorkommen verschiedener Arten von Sehpurpur hinwiesen, konnten wir durch umfassende Untersuchungen zu gleicher Zeit die Frage nach Unterschied und Verbreitung derselben lösen.¹

Dieser doppelten Aufgabe unterzogen wir uns in der Weise, daß wir Vertreter aller Wirbeltierklassen untersuchten, nämlich 4 Säugetier-, 3 Amphibien- und 8 Fischarten. Da von den Vögeln diejenigen, die am leichtesten zu beschaffen sind, wie Taube und Huhn, keinen Sehpurpur besitzen, so begnügten wir uns hier mit der Untersuchung einer Spezies (Eule).

Was die fünfte Wirbeltierklasse anbetrifft, so können wir die Angaben früherer Beobachter (BOLL, KÜHNE u. A.) über den Mangel an Stäbchen und Sehpurpur in den Netzhäuten der meisten Reptilien insofern bestätigen, als wir bei der Schildkröte (*Emys Europaea*) weder in der Netzhaut selbst, noch an einer mit größter Vorsicht bei rotem Licht hergestellten Lösung von 16 Netzhäuten Sehpurpur gefunden haben. Daß die wenigen Reptilien, in deren Netzhaut Stäbchen vorkommen, wie das Krokodil, Gecko und Boa,² noch nicht in den Kreis unserer Untersuchungen gezogen werden konnten, ist leicht begreiflich.

Da jedoch W. KRAUSE³ im Auge von Gecko schon Sehpurpur nachgewiesen hat, so ist es mehr als wahrscheinlich, daß derselbe bei den drei genannten Tieren vorhanden ist; die Untersuchung muß noch lehren, welcher Art er ist.

I. Absorption des Sehpurpurs.

Die Methode zur Herstellung von Sehpurpurlösungen, die für Absorptionsbestimmungen allein zweckmäßig sind, hat KÜHNE

¹ Eine kurze Mitteilung unserer diesbezüglichen Beobachtungen findet sich in den *Sitzgsber. d. Akad. d. Wiss. zu Berlin* vom 25. Juli 1895, „Die Arten des Sehpurpurs in der Wirbeltierreihe“.

² HEINEMANN, „Beiträge zur Anatomie der Retina“, *Arch. f. mikrosk. Anat.* Bd. XIV. S. 409–441. 1877.

³ W. KRAUSE, „Die Retina der Reptilien“, *Intern. Monatschr. f. Anat. u. Physiol.* 1893. S. 47–52.

in den „*Untersuchungen aus dem physiologischen Institut der Universität Heidelberg*“, Bd. I. S. 48, angegeben. Wir sind von ihr, abgesehen von einem später zu erwähnenden Fall, nur darin abgewichen, daß wir die Präparation der Netzhäute bei rotem und nicht bei Natronlicht vornahmen und die Lösungen bei den Fischen von den aus den Netzhäuten in sie übergehenden Beimischungen von Guanin, das durch Filtration nicht zu beseitigen war (Bley, Zander), durch Zentrifugieren befreiten.

Das benutzte Absorptionsgefäß mußte der Kostbarkeit des Materials entsprechend klein sein und war behufs leichter Reinigung auseinandernehmbar. Es bestand aus einer durch die beistehende Figur 1 in ungefähr natürlicher Grösse dargestellten 4 mm dicken, matt geschliffenen Glasplatte, die mit den beiden Öffnungen a und a' versehen war, ferner aus zwei durchsichtigen Glasplatten von der Grösse der ersteren und

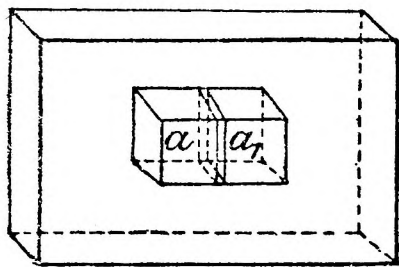


Fig. 1.

einem Metallgestell. Vor dem Gebrauch wurde die mattgeschliffene Platte schwach eingefettet und auf eine der durchsichtigen, im zugehörigen Metallgestell ruhenden Glasplatten gelegt. Von den zwei so entstehenden Hohlräumen wurde der eine mit Sehpurpurlösung, der andere mit gebleichter Sehpurpur- oder Gallenlösung, auch wohl einfach mit Wasser gefüllt. Das Gefäß wurde hierauf mit der anderen Glasplatte bedeckt, und das Ganze durch einen am Metallgestell befindlichen Rahmen geschlossen.

So schwierig es zunächst erscheinen mag, eine stark lichtzersetzliche Substanz einer exakten photometrischen Messung unterwerfen zu wollen, so stellten sich der Ausführbarkeit doch geringere Schwierigkeiten entgegen, als wir selbst geglaubt hatten. Die Lichtempfindlichkeit des Sehpurpurs überschätzend, benutzten wir zuerst ein nach VIERORDTSchem Prinzip gebautes Spektralphotometer, durch dessen besondere, von A. KÖNIG angegebene Konstruktion es ermöglicht wurde, das Absorptionsgefäß nicht wie gewöhnlich zwischen Lichtquelle und Apparat, sondern in das Okularrohr selbst einzuschieben. Der Inhalt des Absorptionsgefäßes war hierdurch nur der Einwirkung desjenigen Spektrallichtes ausgesetzt, in dem die Messung gerade stattfand, allem zur Beobachtung nicht gerade erforderlichen Lichte hingegen entzogen.

Die so ausgeführten Messungen ergaben zwar übereinstimmende Resultate; die durch die Konstruktion des Apparates gegebene Einstellungsweise brachte es jedoch mit sich, daß die einzelnen Einstellungen nicht denjenigen Grad von Genauigkeit besaßen, welcher mit den sonstigen photometrischen Methoden heutzutage erreichbar ist. Wir benutzten daher im weiteren Verlaufe der Untersuchungen ein KÖNIGSches Spektralphotometer¹, dessen Brauchbarkeit zur Erzielung genauer Einstellungen der eine² von uns bereits bei anderer Gelegenheit erprobt hatte. Es zeigte sich nun, daß auch hier, wo das Absorptionsgefäß sich zwischen Apparat und Lichtquelle befand, eine Zersetzung während der Beobachtungszeit vermieden werden konnte. Zur Erläuterung der zu diesem Zweck getroffenen Anordnung dient der ausgezogene Teil der beistehenden Fig. 2.

In einem Dunkelzimmer wurde das Licht einer Auer-Lampe mit mattiertem Zylinder *A* bis auf ein Strahlenbündel durch einen schwarzen Metallzylinder abgeblendet, dessen Öffnung mit einer Linse *L*₁ versehen war. Die hierdurch annähernd parallel gemachten Strahlen passierten behufs Abhaltung der Wärmestrahlen den Wasserkasten *W*₁ *W*₁ und fielen dann auf den mit Spalt versehenen Schirm *S* *S*. Durch die Linse *L*₂ wurde ein Bild des Spaltes auf das Absorptionsgefäß *G* entworfen, welches mit seinem Metallgestell so vor das Kollimatorrohr auf ein Stativ gestellt wurde, daß die Scheidewand seiner beiden Fächer sich vor der Mitte der die beiden Kollimatorspalten trennenden Brücke befand. Um von dem Absorptionsgefäß nicht zur Messung erforderliche Lichtmengen abzuhalten, wurde hier statt der analysierenden Wirkung des Prismas, welche in jenem zuerst erwähnten Apparate zur Geltung kam, die Absorption farbiger Gläser benutzt und zwar derart, daß nach der jeweiligen spektralen Region, in der die Beobachtung gerade vor sich ging, eins der in *B* befindlichen bunten Gläser in den Lichtgang eingeschoben wurde. Die Einstellungen wurden am roten Ende des Spektrum begonnen und zum blauen Ende in Intervallen von 20 $\mu\mu$ Wellenlängen fortgeführt, indem an jedem derselben

¹ A. KÖNIG, Ein neues Spektralphotometer. *Wied. Annalen.* Bd. 53. S. 785—92.

² E. KÖTTGEN, Untersuchung der spektralen Zusammensetzung verschiedener Lichtquellen. *Wied. Annalen.* Bd. 53. S. 793—811.

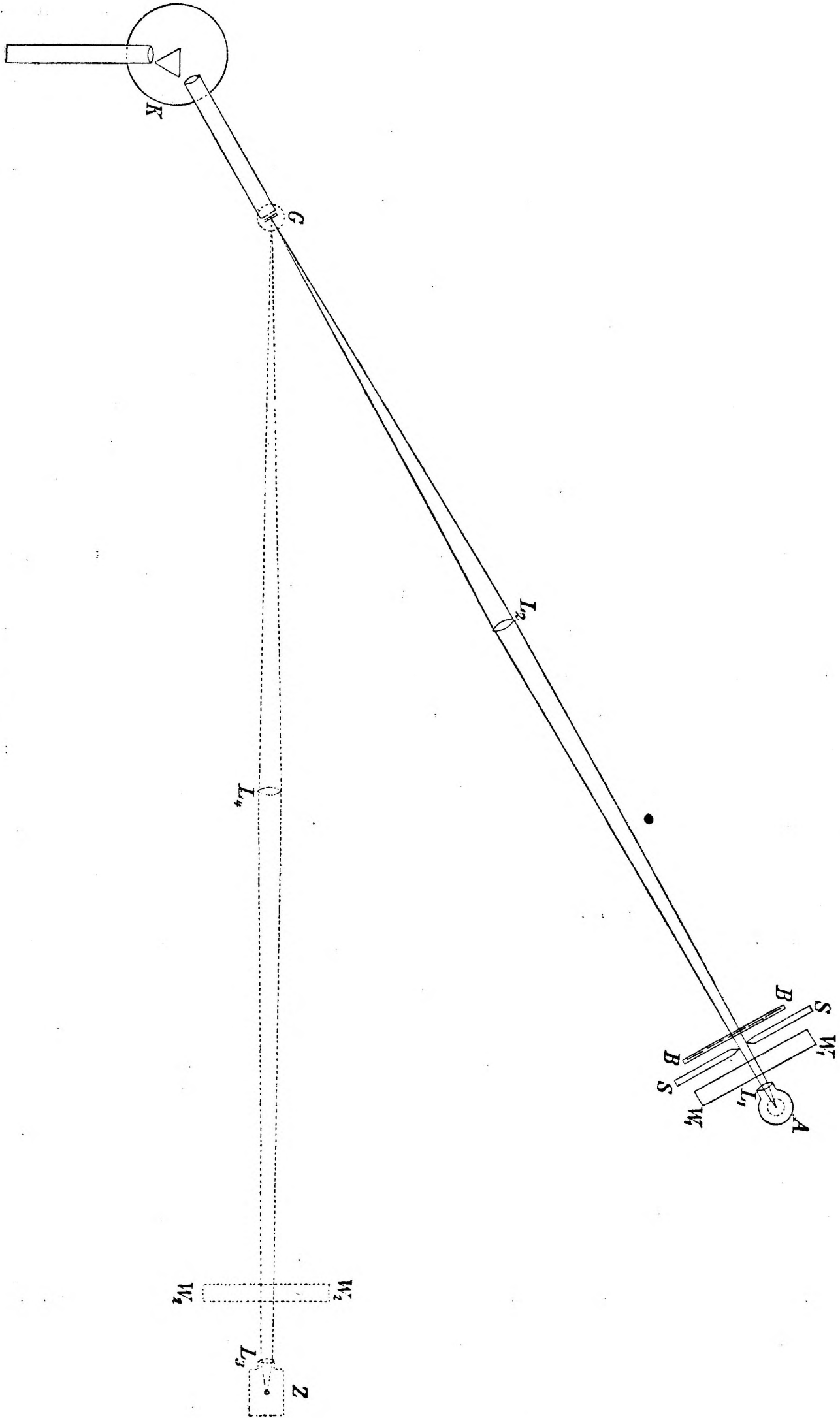


Fig. 2.

5 Einstellungen gemacht wurden. In derselben Weise wurde dann vom blauen zum roten Ende des Spektrums zurückgegangen, so daß also das Resultat einer an einer bestimmten Wellenlänge ausgeführten Messung sich aus zehn Einzelbeobachtungen ergab. Um ein Bild von dem Grade der Zersetzung zu geben, den bei dieser Versuchsanordnung der Sehpurpur während der Beobachtung erlitt, haben wir in der folgenden Tabelle die aus der ersten (Hingang) und letzten (Rückgang) Hälfte der Einstellungen gesondert berechneten Absorptionskoeffizienten, je für eine Beobachtungsreihe vom Kaninchen und eine andere vom Barsch, angeführt.

Tabelle I.

Wellenlängen	Kaninchen		Barsch	
	Hingang	Rückgang	Hingang	Rückgang
680 $\mu\mu$	0.0043	0.0072	0.—	0.0029
660 "	—	—	0.0029	0.0072
640 "	0.0021	0.0078	0.0537	0.0591
620 "	—	—	0.1402	0.1402
600 "	0.0362	0.0266	0.2879	0.2839
580 "	0.0722	0.0663	0.3864	0.3781
560 "	0.2094	0.1949	0.4707	0.4495
540 "	0.3428	0.3208	0.4993	0.4803
520 "	0.4691	0.4530	0.4564	0.4620
500 "	0.5063	0.4964	0.3444	0.3402
480 "	0.4450	0.4363	0.1452	0.1381
460 "	0.3063	0.2751	0.0109	0.0200
440 "	0.0578	0.0869	0.—	0.0052
420 "	0.0077	0.—	0.0015	0.—

An diesen Beispielen zeigt sich, daß an den Punkten stärkerer Absorption, namentlich den zeitlich weiter auseinanderliegenden, im allgemeinen eine Zersetzung während der durchschnittlich dreiviertel Stunde dauernden Beobachtung nachweisbar ist, jedoch eine so geringe, daß sie an einzelnen Punkten durch die Beobachtungsunsicherheit verdeckt, an einem (520 $\mu\mu$) sogar aufgehoben wird. Bildet man daher aus den Einstellungen vom Hin- und Rückgang für jede Wellenlänge den Mittelwert, so muß durch die symmetrische zeitliche Anord-

nung der Einfluss der Zersetzung vollkommen aufgehoben werden.

Die mit den beiden verschiedenen Apparaten ausgeführten Untersuchungen stimmen aber auch, wie die folgende Tabelle zeigt, im wesentlichen vollkommen überein.

Tabelle II.

Wellenlänge	Frosch	
	Beobachtung mit	
	erstem Apparat	zweitem Apparat
660 $\mu\mu$	0.0087	0.0019
640 "	0.0275	0.0054
620 "	0.0601	0.0133
600 "	0.1116	0.0260
580 "	0.1362	0.0599
560 "	0.2059	0.1859
540 "	0.3098	0.3461
520 "	0.4428	0.4713
500 "	0.5067	0.5027
480 "	0.4733	0.4502
460 "	0.3203	0.3112
440 "	0.1574	0.1419
420 "	0.0121	0.—

Wir teilen daher im folgenden nur die genaueren Resultate der mit dem KÖNIGSchen Spektralphotometer ausgeführten Beobachtungen mit.

In dem ersten speziell für die Absorptionsbestimmungen des Sehpurpurs konstruierten Apparat war durch das feste Einpassen des Absorptionskastens in das Okularrohr die Unveränderlichkeit seiner Stellung gesichert. Infolgedessen genügte eine einmalige sorgfältige Vergleichung der beiden Beobachtungsfelder, um die durch den Apparat und die Versuchsanordnung bedingte Differenz der Felder zu ermitteln und als konstant in alle Berechnungen einzuführen.

Bei dem KÖNIGSchen Spektralphotometer hingegen war der Aufstellung des Kastens vor dem Kollimatorrohr ein zwar kleiner aber genügender Spielraum gegeben, um durch Ände-

rungen in der Stellung des Kastens auch die Einstellung auf Gleichheit der Felder zu ändern. Man mußte daher hier in jedem Fall nach erfolgter Zersetzung eine neue Messungsreihe machen, deren Werte zur Berechnung der Absorption dienten. In denjenigen Fällen, in welchen die beiden Fächer des Kastens nicht gleiche Lösungen enthielten, sondern eins derselben mit Gallenlösung oder Wasser gefüllt war, wurde durch die zweite, nach erfolgter Zersetzung des Sehpurpurs vorgenommene Messungsreihe die Absorptionsdifferenz zwischen gebleichter Sehpurpurlösung und Gallenlösung resp. Wasser bestimmt und diese der Absorptionsberechnung des Sehpurpurs zu Grunde gelegt. Diese Art der Absorptionsbestimmung brachte zugleich den Vorteil mit sich, Fehler, die sich aus etwaigen Verunreinigungen des Sehpurpurs durch Blut oder Pigment hätten ergeben können, mit Sicherheit auszuschließen.

Außerdem mußte bei der Rechnung noch berücksichtigt werden, daß ein Teil der Strahlen an den zu diesen senkrecht stehenden, parallelen Wänden des Gefäßes mehrfach hin und her reflektiert wird, mithin die Sehpurpurlösung nicht ein-, sondern mehrmal durchsetzt, wobei jedesmal ein neuer Lichtverlust durch Absorption entsteht. Diese Korrektur beträgt jedoch im Maximum nur 1,5 %.

Auch hatte man es nicht in der Hand, bei allen Lösungen denselben Konzentrationsgrad herzustellen; wo derselbe, wie in den oben angeführten Beispielen, von vornherein beinahe gleich war, hatte der Zufall mehr Anteil daran, als die Absicht. Um nun einen Vergleich der Resultate zu erleichtern, haben wir die ursprünglich gewonnenen Werte so umgerechnet, daß die Mittelwerte der Absorptionskoeffizienten der drei mittleren Punkte stärkster Absorption stets dieselben wurden. In den folgenden Tabellen III und IV geben wir die so umgerechneten Absorptionskoeffizienten des Sehpurpurs von den Vertretern der vier in Betracht kommenden Wirbeltierklassen. Die hier für jede Art zu einem Mittelwerte vereinigten Einzelreihen sind im Anhang¹ (Tabelle A und B) besonders abgedruckt.

Zunächst ergibt sich also, daß bei den untersuchten Wirbeltierklassen zwei Arten von Sehpurpur vorkommen, die

¹ Die Tabellen des Anhangs sollen eine Übersicht über das gesamte Zahlenmaterial im Einzelnen geben. Über jeder Reihe ist die im Maximum wirklich beobachtete Absorption angegeben.

Tabell e III.

Wellenlängen	Säugetiere				Vögel	Amphibien		
	Affe ¹ Kalitrichus sabaens	Katze	Hund	Kaninchen	Schleiereule Strix flammea	Frosch Rana temporaria	Laubfrosch Hyla arborea	Feuerunke Bombinator bombinus
	6 ²	1	1	5	3	5	2	1
720 $\mu\mu$	—	—	—	—	—	0.0023	—	—
700 "	0.0125	0.0012	—	0.0012	—	0.0054	(— 0.003)	0.0174
680 "	(— 0.005) ³	0.0023	—	0.0061	0.0009	(— 0.005)	(— 0.004)	—
660 "	0.0039	0.0167	(— 0.027)	0.0040	—	0.0019	(— 0.005)	(— 0.006)
640 "	0.0051	0.0181	—	0.0089	0.0248	0.0054	(— 0.004)	—
620 "	0.0185	0.0226	(— 0.010)	0.0112	0.0355	0.0133	0.—	0.0286
600 "	0.0384	0.0505	0.0151	0.0348	0.0361	0.0260	0.0115	0.0672
580 "	0.0539	0.0821	0.0248	0.0753	0.0819	0.0599	0.0570	0.1244
560 "	0.1890	0.2177	0.2016	0.1892	0.2027	0.1859	0.2213	0.2452
540 "	0.3221	0.3644	0.3807	0.3464	0.3496	0.3461	0.3799	0.3186
520 "	0.4714	0.4769	0.4705	0.4653	0.4706	0.4713	0.4867	0.4826
500 "	0.5069	0.5237	0.5082	0.5106	0.5073	0.5027	0.5070	0.5097
480 "	0.4423	0.4199	0.4450	0.4453	0.4495	0.4502	0.4288	0.4301
460 "	0.2715	0.2692	0.1710	0.2768	0.2796	0.3112	0.1947	0.2289
440 "	0.0931	0.1330	0.0521	0.0893	0.1158	0.1419	0.0180	0.0417
420 "	0.0095	0.0239	0.0257	(— 0.002)	0.0006	(— 0.008)	(— 0.001)	(— 0.002)

¹ Herr H. MUNK hat uns in liebenswürdiger Weise die Augen dieser Species zur Untersuchung überlassen.

² Diese Zahlen geben hier und in allen folgenden Tabellen die Anzahl der eventuell zu einem Mittelwert vereinigten Beobachtungsreihen an.

³ Die negativen Werte sind in Klammern gesetzt, weil sie, obwohl rechnermäÙig erhalten, physikalisch keinen Sinn haben.

Tabelle IV.

		Fische							
Wellenlängen	Bley <i>Abramis brama</i>	Karpfen <i>Cyprinus carpio</i>	Schleie <i>Tinca vulgaris</i>	Hecht <i>Esox lucius</i>	Forelle <i>Salmo fario</i>	Barsch <i>Perca fluviatilis</i>	Zander <i>Lucioperca sandra</i>	Quappe <i>Lota vulgaris</i>	
	9	2	2	2	2	4	4	2	
700 $\mu\mu$	0.0021	0.0031	(— 0.003)	0.0071	(— 0.008)	0.0072	0.0003	(— 0.003)	
680 "	0.0125	0.0307	(— 0.001)	0.0047	0.0042	0.0038	0.0071	(— 0.004)	
660 "	0.0249	0.0343	0.—	0.0070	0.0003	0.0166	0.0117	(— 0.001)	
640 "	0.0579	0.0660	0.0318	0.0182	0.0458	0.0564	0.0365	0.0196	
620 "	0.1174	0.1060	0.0800	0.0682	0.1548	0.1452	0.0943	0.0813	
600 "	0.2477	0.2074	0.2191	0.2228	0.2699	0.2774	0.1882	0.2012	
580 "	0.3715	0.3257	0.3643	0.3669	0.4001	0.3707	0.3388	0.3448	
560 "	0.4744	0.4642	0.4733	0.4682	0.4744	0.4726	0.4649	0.4534	
540 "	0.5009	0.5068	0.5042	0.5118	0.5060	0.5043	0.5029	0.5104	
520 "	0.4638	0.4677	0.4624	0.4583	0.4596	0.4607	0.4713	0.4588	
500 "	0.3725	0.3821	0.3493	0.3547	0.3326	0.3470	0.3897	0.3550	
480 "	0.2024	0.2073	0.0929	0.2035	0.1326	0.1424	0.1872	0.1164	
460 "	0.0223	0.0436	0.0186	0.0147	0.0223	0.0279	0.0232	0.0179	
440 "	0.0018	0.0061	0.0107	(— 0.006)	(— 0.008)	0.0060	(— 0.005)	0.0066	
420 "	0.0051	0.0010	(— 0.005)	(— 0.002)	(— 0.003)	(— 0.002)	(— 0.003)	0.0039	

eine bei den Säugetieren, Vögeln und Amphibien mit dem Maximum der Absorption bei der Wellenlänge $500 \mu\mu$, die andere bei den Fischen¹ mit dem Absorptionsmaximum bei $540 \mu\mu$. Die stärkste Absorption findet also bei beiden Arten im Grünen statt, bei den Fischen jedoch in einer sich dem Gelbgrünen nähernden Gegend des Spektrums, wodurch das mehr violette Aussehen des Fischsehpurpurs bedingt wird.

Die Mittelwerte vom Kaninchen und Bley stellen wir für die beiden Arten als typisch hin, weil sie mit sämtlichen einzelnen Beobachtungsreihen für die betreffende Art fast vollkommen übereinstimmen, wie Tabelle C des Anhangs zeigt.

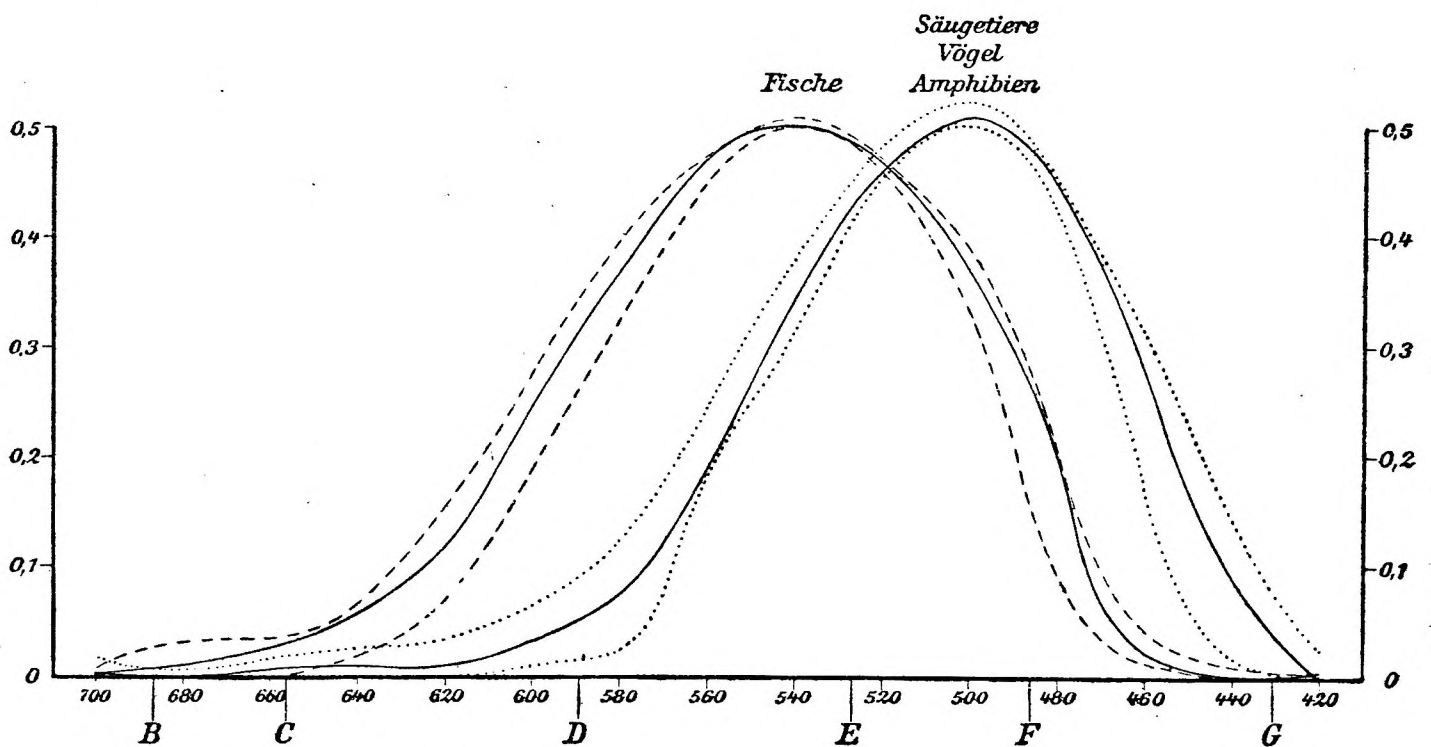


Fig. 3.

In Figur 3 ist nun das gewonnene Resultat graphisch so dargestellt, daß das Spektrum als Abscissenachse, die Absorptionskoeffizienten des Sehpurpurs vom Kaninchen und Bley als Ordinaten eingetragen sind. Die beiden so erhaltenen, in der Figur ausgezogenen Kurven sind eingehüllt von gestrichelten Kurven,

¹ Bei unseren Messungen am Fischsehpurpur haben wir anfangs an unklaren Lösungen vom Barsch Kurven erhalten, deren Maximum nicht bei $540 \mu\mu$, sondern bei $520 \mu\mu$ lag. Da wir dies Resultat bei keinem anderen Fisch, noch auch später bei verschiedenen klaren Lösungen vom Barsch je wieder fanden, so erwähnen wir die Thatsache nur, weil sie die Ursache war, daß wir bei den Fischen so sehr umfangreiche Beobachtungen anstellten. Es lag hier ohne Zweifel eine Verunreinigung der Lösung vor, deren Natur und Ursache unaufgeklärt geblieben ist.

welche die grössten Abweichungen der in den Tabellen III und IV angegebenen Mittelwerte von diesen typischen Kurven darstellen. An vielen Punkten wird die Grösse dieser Abweichungen nicht durch die Unsicherheit der Kurven im allgemeinen, sondern durch diejenige der wenigen vorkommenden Einzelreihen, oder durch Mittelwerte aus nur zwei Beobachtungsreihen bedingt. So würden z. B. die einhüllenden Kurven diejenige vom Kaninchen bei $580 \mu\mu$ viel enger umschliessen, wenn nicht bei zwei Einzelreihen (Hund und Feuerunke) grössere Fehler vorgekommen wären, während die sonstige Übereinstimmung an diesem Punkte eine sehr gute ist. Auch

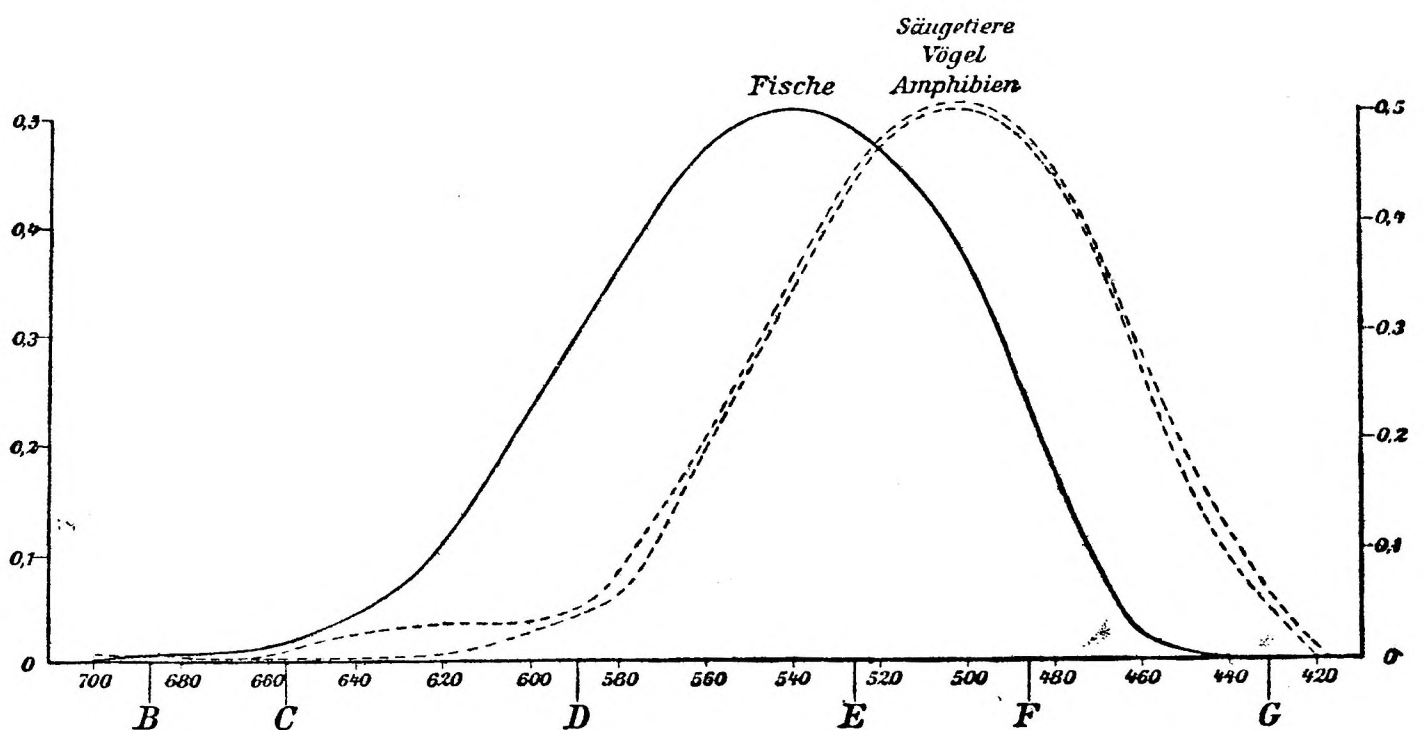


Fig. 4.

bei $460 \mu\mu$ giebt die Kurve vom Hund wieder die grösste Abweichung. Bei vielen Tieren mußten wir uns aus praktischen Gründen damit begnügen, eine einzige Lösung herzustellen, die unter Umständen, an sich von schwacher Konzentration, nur zur einmaligen Füllung unseres Absorptionsgefäßes ausreichte. War aber die Zugehörigkeit zur einen oder anderen Art mit Sicherheit festgestellt, so glaubten wir von einer Wiederholung Abstand nehmen zu können, selbst wenn Unsicherheiten, wie die eben geschilderten, hervorgetreten waren.

Dafs alle vorkommenden Abweichungen wirklich nur auf Ungenauigkeit beruhen, geht am besten daraus hervor, dafs der Mittelwert aller Kurven von Säugetieren mit demjenigen der

Amphibienkurven und mit der Vogelkurve so gut wie vollkommen übereinstimmt. Um diese Übereinstimmung zu zeigen, haben wir in der folgenden Tabelle V die betreffenden Mittelwerte angegeben, und demjenigen für die Fische noch einmal gegenübergestellt, ferner dieses Resultat auch in Figur 4 graphisch dargestellt und zwar so, daß die Fischkurve ausgezogen und der Raum, in dem die Mittelwerte aller Reihen der anderen Art verlaufen, durch gestrichelte Kurven angegeben ist.

Tabelle V.

Wellenlängen	Mittelwerte sämtlicher Messungsreihen bei:			
	Säugetieren	Vögeln	Amphibien	Fischen
	13	3	8	27
700 $\mu\mu$	0.0082	—	0.0046	0.0019
680 "	0.0036	0.0009	(— 0.005)	0.0077
660 "	0.0022	—	(— 0.001)	0.0155
640 "	0.0098	0.0248	0.0027	0.0466
620 "	0.0146	0.0355	0.0059	0.1107
600 "	0.0362	0.0361	0.0275	0.2308
580 "	0.0610	0.0819	0.0672	0.3591
560 "	0.1922	0.2027	0.2022	0.4699
540 "	0.3393	0.3496	0.3511	0.5043
520 "	0.4694	0.4706	0.4766	0.4635
500 "	0.5097	0.5037	0.5047	0.3647
480 "	0.4419	0.4495	0.4424	0.1724
460 "	0.2656	0.2796	0.2718	0.0237
440 "	0.0916	0.1158	0.0984	0.0009
420 "	0.0100	0.0006	(— 0.005)	(— 0.001)

Die einzigen nennenswerten Abweichungen bei 640 und 620 $\mu\mu$ werden durch die beiden hohen Werte einer einzigen Absorptionsbestimmung des Vogelsehpurpurs hervorgerufen. (Siehe Anhang, Tabelle A, Vögel: Reihe 1.)

Ein weiteres wichtiges Ergebnis dieser Untersuchung ist die Übereinstimmung der Absorption des menschlichen Sehpurpurs mit derjenigen des Sehpurpurs von Säugetieren, Vögeln und Amphibien. Um diese Übereinstimmung darzuthun, haben

wir die von A. KÖNIG¹ angegebenen Absorptionskoeffizienten des menschlichen Sehpurpurs auf dieselbe Konzentration umgerechnet, die unseren oben angeführten Tabellen zu Grunde gelegt ist, und die so erhaltenen Werte in der folgenden Tabelle VI denjenigen vom Kaninchen und Frosch gegenübergestellt; zu gleicher Zeit haben wir sie in Figur 5 durch Kurven veranschaulicht.

Tabelle VI.

Wellenlängen	Mensch	Kaninchen	Frosch
600 $\mu\mu$	0.0223	0.0348	0.0260
580 "	0.0876	0.0753	0.0599
560 "	0.1292	0.1892	0.1859
540 "	0.3378	0.3464	0.3461
520 "	0.4365	0.4653	0.4713
500 "	0.5285	0.5106	0.5027
480 "	0.4558	0.4453	0.4502
460 "	0.3451	0.2768	0.3112
440 "	0.1807	0.0893	0.1419
420 "	(- 0.042)	(- 0.002)	(- 0.008)

Wollen wir nun das Resultat unserer Messungen mit dem, was vor unseren Untersuchungen die Farbenanalyse des Sehpurpurs ergeben hatte, vergleichen, so sind zwei Autoren zu berücksichtigen, KÜHNE und HAMBURGER. Ersterer hatte bereits durch Einschaltung einer Sehpurpurlösung zwischen Heliostat und Spektralapparat festgestellt, daß die stärkste Beschattung im monochromatischen Lichte zwischen *D* und *E* stattfindet. Aus der graphischen Darstellung² geht auch schon hervor, daß beim Frosche das Maximum der Absorption nahe bei *E*, bei *Abramis Brama* jedoch näher bei *D* liegt.

Haben zwar HAMBURGERS³ mehrere Jahre später mit einer recht unvollkommenen Methode angestellte Beobachtungen

¹ A. KÖNIG, Absorption des menschlichen Sehpurpurs und seine Bedeutung für das Sehen. *Sitzungsber. d. Berl. Akad.* S. 577–598. 1894.

² *Untersuch. a. d. physiolog. Institut d. Univers. Heidelberg.* Bd. III. S. 267. 1880.

³ H. J. HAMBURGER „Staafjesrood in monochromatisch licht“ Festbundel aan F. C. DONDEERS, Amsterdam 1888. S. 501–510.

keine genaueren Einzelheiten ergeben, so mögen sie doch der Vollständigkeit halber hier angeführt sein, zumal sie sonst wenig bekannt geworden sind.

HAMBURGER ging davon aus, daß die GröÙe der Absorption und die zeitliche Wirkung des Lichtes direkt proportional seien und bestimmte die Absorption, indem er ermittelte, in welcher Zeit eine eben merkliche Farbenveränderung mit einer getrockneten Froschetina an verschiedenen Stellen des Spektrums

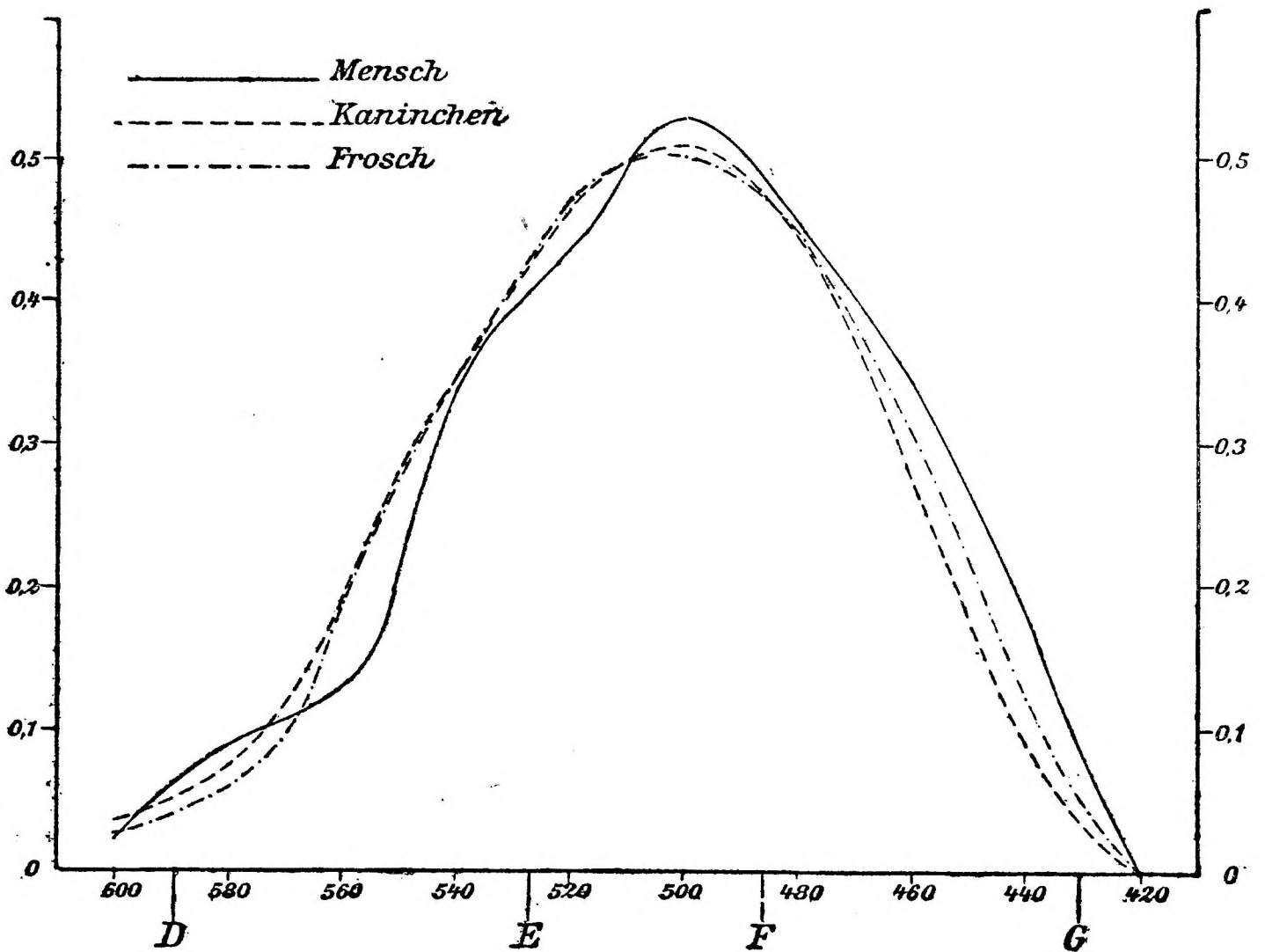


Fig. 5.

vor sich geht. Nach Elimination der Dispersion des benutzten Spektrums und Umrechnung auf gleiche Energie fand er folgende Absorptionskoeffizienten:

D	$E-b$	$b^{1/2}F$	F
1.58	79.28	100	82.7

Das Maximum der Absorption ist also auch hiernach zwischen E und F zu suchen.

II. Zersetzung des Sehpurpurs.

Wir haben uns bei den Versuchen über die Einwirkungen des Lichtes auf den Sehpurpur, die der erfordernten langen

Tabelle A.
Absorption vor Belichtung.

Wellenlängen	Säugetiere													Vögel			Amphibien							
	Affe <i>Kalitrichus sabaicus</i>						Katze	Hund	Kaninchen					Schleiereule <i>Strix flammea</i>			Frosch <i>Rana temporaria</i>				Laubfrosch <i>Hyla arborea</i>		Feuerunke <i>Bombinator bombinus</i>	
	0.1731 ¹	0.1325	0.1645	0.1364	0.3218	0.1910	0.3578	0.3117	0.3857	0.3810	0.3822	0.4349	0.5017	0.2387	0.3139	0.3013	0.3282	0.4987	0.4688	0.5073	0.4105	0.8935	0.7947	0.2277
700 $\mu\mu$	0.0128	0.—	0.0288	0.0368	—	(— 0.016)	0.0012	—	0.0044	(— 0.002)	—	—	—	—	—	—	0.0117	0.0023	0.0097	(— 0.002)	(— 0.003)	(— 0.004)	0.0174	
680 „	—	—	—	—	(— 0.005)	—	0.0023	—	0.0098	0.0044	—	0.0053	0.0050	—	0.0039	(— 0.002)	(— 0.008)	(— 0.005)	0.—	0.0087	(— 0.019)	(— 0.004)	(— 0.005)	—
660 „	0.0176	(— 0.027)	0.0230	0.0112	—	(— 0.005)	0.0167	(— 0.027)	0.0098	0.0062	(— 0.004)	—	—	—	—	0.0003	0.0044	0.0062	0.0036	(— 0.005)	(— 0.003)	(— 0.008)	(— 0.006)	
640 „	—	—	—	—	0.0051	—	0.0181	—	0.0098	0.0137	—	0.0078	0.0044	0.0726	(— 0.001)	0.0028	0.0187	0.0023	0.0078	0.0014	(— 0.003)	(— 0.004)	(— 0.004)	—
620 „	0.0753	0.0189	0.0102	0.—	0.0064	0.—	0.0226	(— 0.010)	0.0067	0.0158	—	—	—	0.0777	0.0234	0.0055	0.0262	0.0250	0.0072	0.0093	(— 0.001)	0.—	0.—	0.0286
600 „	0.1052	(— 0.016)	0.0371	0.0397	0.0114	0.0527	0.0505	0.0151	0.0194	0.0208	0.0393	0.0626	0.0321	0.0297	0.0450	0.0335	0.0490	0.0395	0.0178	0.0199	0.0037	0.0155	0.0074	0.0672
580 „	0.1430	0.0191	0.0507	0.0346	0.0191	0.0570	0.0821	0.0248	0.0674	0.0708	—	0.0933	0.0696	0.1031	0.0809	0.0617	0.0897	0.0755	0.0450	0.0578	0.0317	0.0646	0.0494	0.1244
560 „	0.1907	0.1322	0.2150	0.2831	0.1422	0.1708	0.2177	0.2016	0.2082	0.1753	0.1750	0.1863	0.2010	0.2031	0.2048	0.2002	0.2064	0.1913	0.1825	0.1819	0.1676	0.2231	0.2195	0.2452
540 „	0.2392	0.2859	0.3721	0.3828	0.3115	0.3409	0.3644	0.3807	0.3520	0.3766	0.3485	0.3262	0.3307	0.3597	0.3420	0.3472	0.3667	0.3357	0.3345	0.3550	0.3385	0.3725	0.3873	0.3186
520 „	0.4642	0.4788	0.4710	0.4877	0.4622	0.4645	0.4769	0.4705	0.4725	0.4583	0.4729	0.4614	0.4615	0.4756	0.4656	0.4707	0.4762	0.4654	0.4710	0.4689	0.4752	0.4852	0.4882	0.4826
500 „	0.4758	0.5257	0.5171	0.5238	0.5000	0.4993	0.5237	0.5082	0.5226	0.5062	0.5200	0.5026	0.5017	0.5167	0.5005	0.4940	0.5193	0.5023	0.4958	0.5073	0.4888	0.5047	0.5094	0.5097
480 „	0.4733	0.4154	0.4344	0.4073	0.4627	0.4608	0.4199	0.4450	0.4369	0.4596	0.4288	0.4604	0.4406	0.4297	0.4583	0.4604	0.4262	0.4569	0.4580	0.4460	0.4612	0.4334	0.4243	0.4301
460 „	0.2447	0.2913	0.1922	0.2784	0.2722	0.3500	0.2692	0.1710	0.2642	0.2825	0.2392	0.3063	0.2919	0.2913	0.2383	0.3093	0.2845	0.2892	0.3564	0.2636	0.3625	0.1714	0.2180	0.2289
440 „	0.1220	0.0796	0.0518	0.0380	0.1155	0.1520	0.1330	0.0521	0.0980	0.1194	0.0730	0.0880	0.0682	0.1137	0.1686	0.0652	0.1270	0.1061	0.1496	0.1206	0.2064	0.0380	(— 0.002)	0.0417
420 „	0.0798	(— 0.038)	(— 0.003)	(— 0.004)	(— 0.002)	0.0243	0.0239	0.0257	(— 0.009)	0.0012	(— 0.001)	(— 0.001)	(— 0.001)	0.0039	(— 0.001)	(— 0.001)	0.0232	(— 0.028)	(— 0.044)	0.0030	0.0083	0.0007	(— 0.002)	(— 0.002)

¹ Diese Zahlen geben hier und in den Tabellen B und D die bei 500 $\mu\mu$ (Säugetiere, Vögel, Amphibien), resp. 540 $\mu\mu$ (Fische) wirklich gemessene Absorption jeder Reihe an.

Tabelle B.
Absorption vor Belichtung.

Wellen- längen	Fische																										
	Bley Abramis brama									Hecht Esox lucius		Quappe Lota vulgaris		Zander Lucoperca sandra				Forelle Salmo fario		Schleie Tinca vulgaris		Karpfen Cyprinus carpio		Barsch Perca fluviatilis			
	0.5732	0.4552	0.5958	0.5502	0.4072	0.4507	0.4434	0.4323	0.6136 ¹	0.2502	0.5461	0.5025	0.4747	0.4256	0.4466	0.4337	0.4789	0.3121	0.2904	0.4242	0.4085	0.4745	0.4314	0.3566	0.3717	0.3178	0.4897
700 $\mu\mu$	—	0.—	0.—	0.0007	0.0076	(— 0.011)	0.0044	0.0035	0.0114	—	0.0071	(— 0.003)	(— 0.003)	(— 0.006)	0.0026	0.—	0.0046	0.0014	(— 0.003)	0.—	(— 0.005)	(— 0.007)	0.0132	0.0081	(— 0.008)	0.0279	0.0007
680 "	0.0196	(— 0.009)	0.0149	0.0041	0.0178	(— 0.001)	0.0223	0.0214	0.0227	0.0018	0.0076	(— 0.004)	(— 0.005)	0.0083	0.0137	0.0026	0.0037	0.0096	(— 0.018)	0.—	(— 0.001)	0.0135	0.0479	0.0023	0.0078	0.0039	0.0014
660 "	0.0234	(— 0.002)	0.0226	0.0123	0.0306	0.0301	0.0415	0.0282	0.0375	0.0109	0.0032	0.0079	(— 0.010)	0.0081	0.0362	0.0035	(— 0.001)	0.0107	(— 0.010)	0.0028	(— 0.002)	0.0144	0.0542	0.0114	0.0185	0.0315	0.0051
640 "	0.0747	0.0295	0.0424	0.0255	0.0681	0.0844	0.0647	0.0715	0.0601	0.0090	0.0304	0.0391	0.—	0.0242	0.0622	0.0479	0.0119	0.0529	0.0388	0.0246	0.0390	0.0544	0.0777	0.0295	0.0512	0.0816	0.0588
620 "	0.1272	0.1087	0.0999	0.0762	0.1106	0.1528	0.1400	0.1075	0.1336	0.0335	0.1029	0.1136	0.0490	0.0855	0.1176	0.1216	0.0525	0.1701	0.1396	0.0926	0.0604	0.0999	0.1122	0.1280	0.1276	0.1796	0.1455
600 "	0.2861	0.2631	0.2524	0.1965	0.2475	0.2670	0.2457	0.2148	0.2560	0.2261	0.2195	0.2194	0.1830	0.1699	0.2222	0.1998	0.1611	0.2762	0.2636	0.2348	0.2034	0.2206	0.1942	0.2746	0.2767	0.2765	0.2819
580 "	0.3842	0.3735	0.3632	0.3418	0.3602	0.3933	0.3807	0.3484	0.3985	0.3780	0.3558	0.3622	0.3274	0.3293	0.3466	0.3555	0.2339	0.3904	0.4098	0.3686	0.3599	0.3339	0.3175	0.3902	0.3555	0.3646	0.3725
560 "	0.4814	0.4684	0.4705	0.4858	0.4795	0.4670	0.4667	0.4712	0.4789	0.4691	0.4673	0.4474	0.4594	0.4648	0.4658	0.4714	0.4577	0.4707	0.4781	0.4751	0.4716	0.4648	0.4636	0.4756	0.4752	0.4707	0.4707
540 "	0.4970	0.5024	0.5062	0.4956	0.4953	0.5018	0.5045	0.4937	0.5119	0.5173	0.5063	0.5025	0.5184	0.5022	0.5061	0.5001	0.5031	0.5080	0.5020	0.5063	0.5020	0.5123	0.5013	0.5051	0.5078	0.5078	0.5004
520 "	0.4606	0.4685	0.4622	0.4580	0.4647	0.4705	0.4679	0.4748	0.4470	0.4513	0.4653	0.4577	0.4599	0.4723	0.4670	0.4679	0.4781	0.4601	0.4591	0.4588	0.4660	0.4612	0.4743	0.4583	0.4557	0.4604	0.4682
500 "	0.3778	0.3791	0.3702	0.3520	0.4050	0.3778	0.3971	0.3706	0.3231	0.3228	0.3866	0.3695	0.3406	0.3897	0.4043	0.3785	0.3865	0.3531	0.3129	0.3490	0.3496	0.3687	0.3955	0.3274	0.3675	0.3411	0.3521
480 "	0.2130	0.1695	0.1898	0.1441	0.2023	0.2924	0.2279	0.1939	0.1888	0.2248	0.1823	0.1368	0.0960	0.1913	0.2297	0.1122	0.2241	0.1209	0.1453	0.0897	0.0943	0.1946	0.2200	0.1590	0.1182	0.1453	0.1471
460 "	0.0243	0.0112	0.0279	0.0151	0.0132	0.0523	0.0253	0.0062	0.0250	0.0109	0.0185	0.0128	0.0230	0.0109	0.0417	0.0273	0.0130	0.0208	0.0239	0.0121	0.0250	0.0452	0.0419	0.0525	0.0189	0.0253	0.0149
440 "	0.0041	(— 0.003)	(— 0.008)	0.0100	0.0028	0.0234	0.0044	(— 0.030)	0.0123	0.0018	(— 0.013)	0.0022	0.0109	0.0058	(— 0.007)	0.0053	(— 0.030)	0.—	(— 0.016)	0.0132	0.0081	0.0037	0.0085	0.0026	0.0226	0.—	(— 0.001)
420 "	0.0016	0.0098	—	—	—	—	—	—	0.0039	(— 0.002)	—	0.—	0.0078	0.0018	(— 0.009)	0.0009	(— 0.007)	0.—	(— 0.007)	(— 0.006)	(— 0.005)	0.0021	0.—	(— 0.002)	(— 0.003)	(— 0.001)	(— 0.001)

¹ Die Präparation der Netzhäute wurde hier bei blauem Lichte vorgenommen.

Tabelle C.

Wellenlängen	1. Typus		2. Typus	
	Mittelwerte sämtlicher Einzelreihen des 1. Typus	Kaninchen	Mittelwerte sämtlicher Einzelreihen des 2. Typus	Bley
	24	5	27	9
700 $\mu\mu$	0.0065	0.0012	0.0019	0.0021
680 „	0.—	0.0061	0.0077	0.0125
660 „	0.0008	0.0040	0.0155	0.0249
640 „	0.0104	0.0089	0.0466	0.0579
620 „	0.0166	0.0112	0.1107	0.1174
600 „	0.0333	0.0348	0.2308	0.2477
580 „	0.0659	0.0753	0.3591	0.3715
560 „	0.1969	0.1892	0.4699	0.4744
540 „	0.3446	0.3464	0.5043	0.5009
520 „	0.4719	0.4653	0.4635	0.4638
500 „	0.5073	0.5106	0.3647	0.3725
480 „	0.4429	0.4453	0.1723	0.2024
460 „	0.2694	0.2768	0.0237	0.0223
440 „	0.0969	0.0893	0.0009	0.0018
420 „	0.0024	(— 0.002)	(— 0.001)	0.0051

Tabelle D.

Absorption nach Belichtung.

Wellenlängen.	Bley (Abramis brama)			Frosch (Rana temporaria)						Kaninchen.							Affe (Kalitrichus sabaeus)		
	Belichtet mit gelbem Licht		Belichtet mit blauem Licht	Belichtet mit gelbem Licht			Belichtet mit blauem Licht			Belichtet mit weißem Licht				Belichtet mit gelbem Licht			Belichtet mit gelbem Licht		
	0.4071	0.2323		0.2473	0.5049	0.2877	0.1487	0.0859	0.4269 ¹	0.1999	0.2776	0.2344	0.2157	0.2088	0.1221	0.3180	0.1990	0.1912	0.1214
700 $\mu\mu$	—	0.0230	0.0158	—	—	—	—	—	—	—	—	—	(-0.004)	—	—	0.0094	—	(-0.016)	0.0128
680 „	0.0137	0.0286	0.0049	—	—	—	—	—	—	—	—	(-0.002)	—	0.0121	0.0137	0.0321	0.0137	—	—
660 „	0.0163	0.0691	0.0162	—	—	—	—	0.—	—	(-0.005)	(-0.002)	—	0.0076	—	—	0.0094	—	0.0386	0.0208
640 „	0.0637	0.0654	0.0180	—	—	—	—	(-0.014)	—	—	—	—	—	0.—	0.0055	0.0275	0.0163	—	—
620 „	0.1449	0.0761	0.1114	0.0264	(-0.020)	0.0096	0.0604	0.0018	0.0688	—	—	—	0.0255	—	—	0.0114	—	(-0.031)	(-0.014)
600 „	0.2866	0.2215	0.1695	0.0130	0.0426	0.0221	0.0169	0.0408	0.0851	0.0032	0.0039	0.1027	0.0461	0.0507	0.0293	0.0408	0.0189	0.0501	0.0208
580 „	0.3868	0.3315	0.3909	0.0617	0.1147	0.0404	0.0058	0.0732	0.1246	—	—	0.1348	0.0997	0.1059	0.0699	0.0601	0.0163	0.0646	0.0539
560 „	0.4769	0.478	0.4842	0.2446	0.2322	0.1545	0.1222	0.1815	0.1800	0.1498	0.1489	0.2084	0.1872	0.1815	0.2068	0.2168	0.1928	0.2155	0.1935
540 „	0.4991	0.5089	0.5004	0.3781	0.3782	0.2645	0.2339	0.3152	0.2979	0.3643	0.3105	0.3272	0.3400	0.3394	0.3587	0.3396	0.3445	0.3315	0.3756
520 „	0.4635	0.4476	0.4545	0.4669	0.4525	0.4486	0.4745	0.4581	0.4325	0.4701	0.4478	0.4638	0.4612	0.4605	0.4638	0.4412	0.4533	0.4474	0.4599
500 „	0.4025	0.3259	0.3205	0.5313	0.5044	0.5101	0.5005	0.5102	0.5165	0.5275	0.5222	0.5150	0.5047	0.5172	0.5163	0.5101	0.5587	0.5080	0.4745
480 „	0.2262	0.1913	0.2372	0.4216	0.4673	0.4650	0.4489	0.4551	0.4747	0.4225	0.4524	0.4454	0.4583	0.4450	0.4425	0.4719	0.4005	0.4686	0.4909
460 „	(-0.001)	0.0328	0.0196	0.2693	0.3451	0.3019	0.2377	0.2935	0.3807	0.2715	0.2227	0.3099	0.3142	0.3061	0.2731	0.2596	0.2111	0.3159	0.2714
440 „	0.0153	0.0058	0.0221	0.0982	0.1800	0.2268	0.1648	0.0889	0.1314	0.0266	0.0221	0.0867	0.1332	0.1036	0.1336	0.0941	0.0624	0.1586	0.0485
420 „	0.0094	—	—	0.0032	0.0544	0.—	0.0568	0.0248	0.0118	(-0.002)	(-0.027)	(-0.002)	(-0.016)	(-0.046)	(-0.001)	(-0.011)	(-0.011)	0.—	0.0146

¹ Die Präparation der Netzhäute fand in diesem Fall bei blauem Licht statt.

Beobachtungszeit wegen nur an durchaus haltbaren Lösungen angestellt werden können, auf einige Tiere (Bley, Frosch, Kaninchen und Affe) beschränkt und bei einem Teil die Messungen im langwelligen Ende des Spektrums nicht ganz durchgeführt. Zur Herstellung besonders klarer, blutfreier und zugleich haltbarer Lösungen erwies sich eine erst während unserer Untersuchung von Herrn KÜHNE¹ veröffentlichte Methode als besonders geeignet, nach welcher die Augen vor Herausnahme der Netzhäute in Alaun gehärtet und der späteren Einwirkung der Galle vermittelt Durchtränkung mit 10 % Kochsalzlösung zugänglich gemacht werden. Die meisten Versuche dieser Art lagen jedoch schon vor, als wir die neue Methode kennen lernten, und weil durch ihre Anwendung das frühere Resultat, abgesehen von vielleicht größerer Genauigkeit, nicht im mindesten geändert wurde, so sahen wir von einer Wiederholung ab und wandten sie nur beim Rest der Versuche an.

Unser sich stets ergebendes Resultat war, daß der Sehpurpur ohne Bildung von Sehgelb erblich. Da dies im Gegensatz zu den Ergebnissen früherer Beobachter² stand, so glaubten wir zunächst den Grund in etwaigen Fehlern unserer Versuchsanordnung suchen zu müssen. Möglicherweise konnte die Bildung von Sehgelb durch die benutzte Gallenlösung verhindert werden. Wir benutzten daher bei der Herstellung der Sehpurpurlösungen verschiedene Gallenpräparate. Als wir auch so durch Absorptionsbestimmung kein Sehgelb nachweisen konnten, meinten wir trotzdem noch, gegen den strengen Beweis der Richtigkeit uns selbst Einwände machen zu müssen. Alle unsere Gallenpräparate waren nicht völlig farblos, sondern hatten einen schwach gelblichen Ton. Konnte nicht, trotzdem farbige lichtbeständige Beimischungen für die Messung belanglos waren, hierin eine Fehlerquelle liegen? Das eine Fach des Absorptionskastens enthielt die Sehpurpurlösung, das andere Gallen- oder gebleichte Sehpurpurlösung. Der Größenunterschied der Absorption des Sehpurpurs und der Gallen-

¹ W. KÜHNE. „Zur Darstellung des Sehpurpurs“, *Zeitschr. für Biolog.* N. F. Bd. XIV. S. 21. 1895.

² Nur HAMBURGER sagt a. a. O. S. 507. „De verandering, die monochromatisch licht zoowel van grootere als van kleinere golflengte in het netvlies van den winterkikvorsch teweeg brengt, bestaat in een vermindering van saturatie.“

resp. gebleichten Sehpurpurlösung würde, wie oben bemerkt, zunächst gemessen, sodann bei Belichtungsversuchen in derselben Weise die Absorption der Zersetzungsprodukte bestimmt. Da ja zum Schluss nach vollendeter Bleichung eine neue Messungsreihe vorgenommen und die sich jetzt ergebende Absorptionsdifferenz zwischen den in beiden Fächern enthaltenen Lösungen der endgültigen Berechnung der Absorption zu Grunde gelegt wurde, war die Entstehung eines Fehlers durch Färbung des Lösungsmittels undenkbar. Es wäre aber doch möglich gewesen, daß trotz intensiver Belichtung zum Schluss unzersetztes Sehgelb zurückblieb, dessen Aussehen dem Auge durch die dem Lösungsmittel anhaftende gelbliche Farbe verdeckt wurde. Diese Möglichkeit war an sich sehr unwahrscheinlich, überdies konnten wir sie durch Herrn KÜHNES freundliches Entgegenkommen experimentell widerlegen. Nachdem sowohl unsere, als die von den Herren KOSSEL und THIERFELDER in dankenswerter Bereitwilligkeit angestellten Versuche, farblose Gallenlösung herzustellen, mißlungen waren, stellte Herr KÜHNE in liebenswürdigster Weise eine vollkommen klare und farblose Gallenlösung zur Verfügung. Bei gleichzeitiger Anwendung der erwähnten Alaunhärtung wurde hiermit eine Sehpurpurlösung hergestellt, die nach der Bleichung völlig farblos war. Das Resultat zweier mit derselben gemachten Versuche, bei welchen nach der gewöhnlichen Absorptionsbestimmung noch 2 Messungsreihen vor vollendeter Zersetzung gemacht wurden, sei als Beispiel für die Wirkung der Belichtung in der folgenden Tabelle VII mitgeteilt und in Fig. 6 *a* und *b* graphisch zur Anschauung gebracht.

Es geht aus diesen Beobachtungen klar hervor, daß die Belichtung nur eine fortschreitende Abnahme der Konzentration und natürlich zum Schluss Farblosigkeit hervorruft. Daß in einer Reihe des ersten Versuchs die Absorption bei $460 \mu\mu$ und in einer des zweiten Versuchs diejenige von $440 \mu\mu$ zu hoch gemessen ist, beruht ja augenscheinlich nur auf Beobachtungsunsicherheit.

Um möglichst viel Absorptionsbestimmungen konzentrierter Lösungen zu erhalten, aber auch der leichteren Übersicht des Resultats halber hielten wir im allgemeinen daran fest, jedesmal die Absorption des Sehpurpurs zu messen, ehe wir zur Belichtung übergingen. Da wir nun, wie oben bemerkt, die Stellung

des Absorptionsgefäßes während der Beobachtungsdauer nicht ändern durften, so war für die Ausführung der Belichtung eine besondere Anordnung erforderlich. Zur Erläuterung derselben dient der gestrichelte Teil der Figur 2. Das Licht der Zirkonlampe *Z*, das behufs Abhaltung der Wärmestrahlen den Wasser-

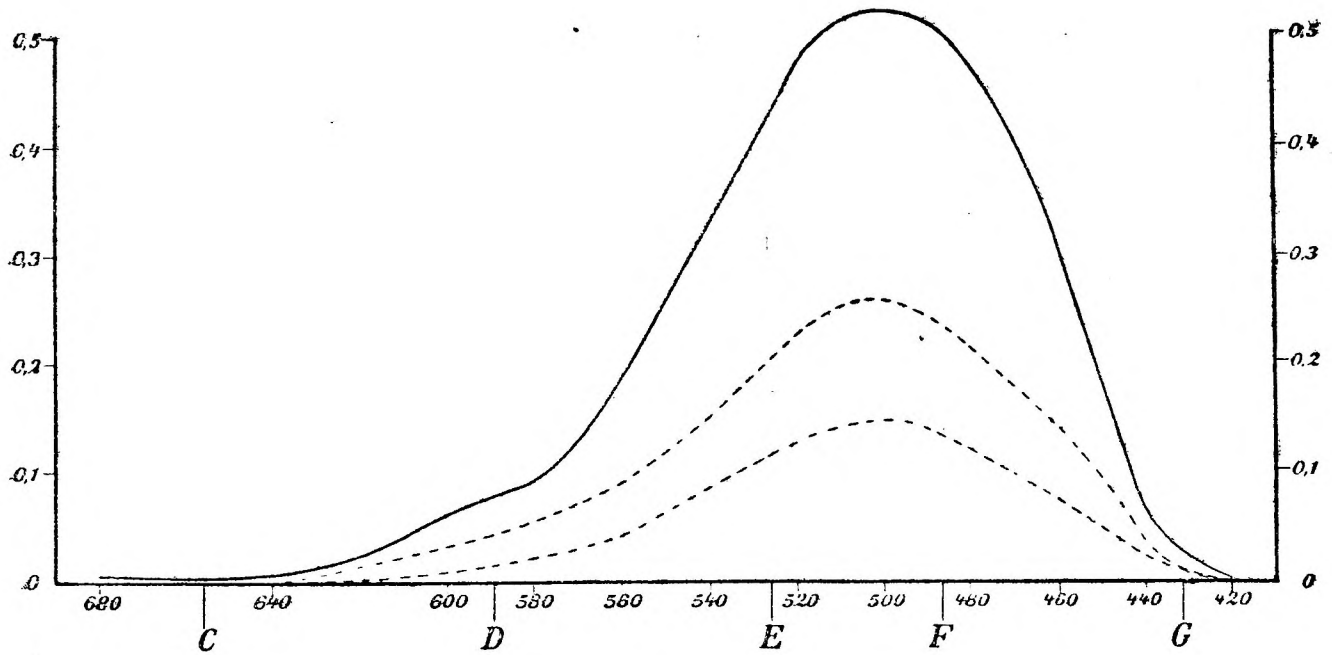


Fig. 6a.

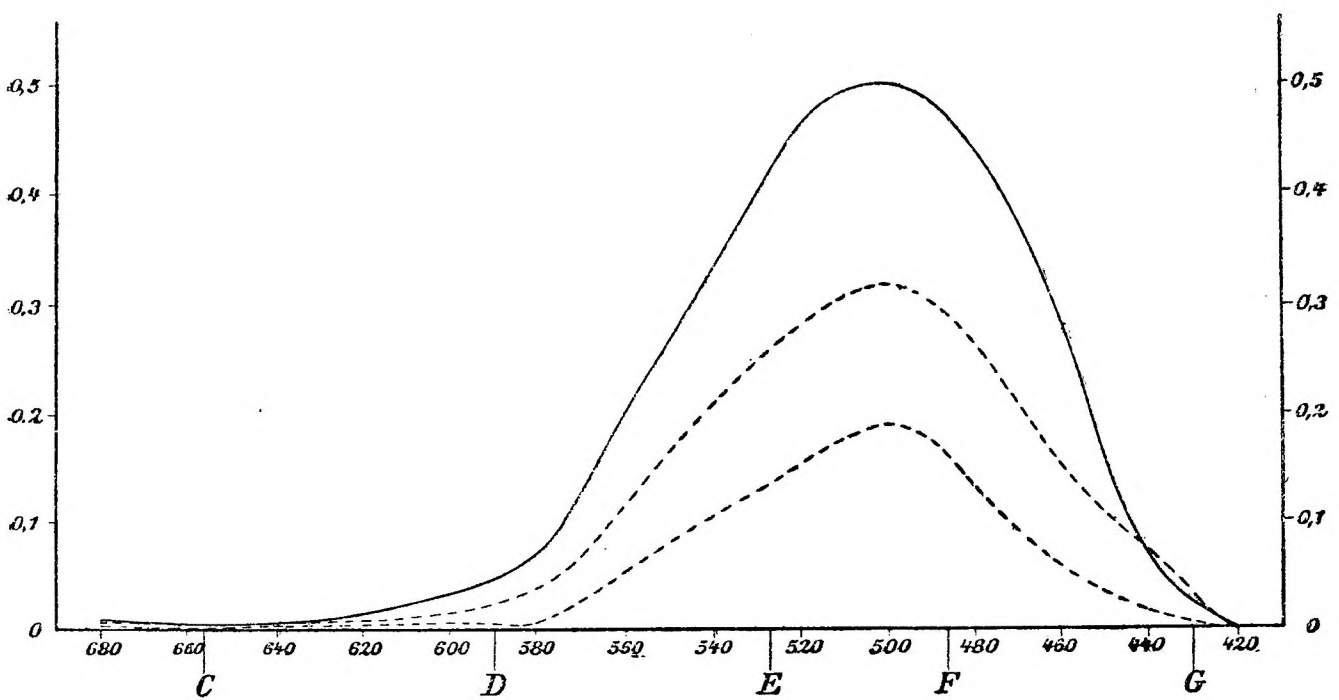


Fig. 6b.

kasten W_2 W_2 passieren mußte, wurde durch die Linse L_3 der Zirkonlampe und durch die Linse L_4 auf das Absorptionsgefäß konzentriert.

Wir haben die Stadien der Zersetzung dann verfolgt, indem wir außer den durch das ganze Spektrum lückenlos ausgeführten Messungsreihen in kürzeren Zwischenräumen orientierende an den Hauptpunkten des Spektrums anstellten.

In dieser Weise haben wir die Zersetzung nicht nur bei der Einwirkung von weißem, sondern auch gelbem und blauem Lichte verfolgt. Dies geschah, indem zwischen Zirkonlampe und Absorptionsgefäß gelbes Glas oder blaue Kupferoxydammoniaklösung eingeschoben wurde, in der Absicht, durch erstere Maßregel der Zersetzung des Sehgelbs vorzubeugen, durch letztere sie zu beschleunigen. In Tabelle VIII sind die Resultate der Absorptionsbestimmungen nach diesen drei Arten der Belichtung zusammengestellt; des Vergleichs halber haben wir dabei die Kurven nach Belichtung auf dieselbe Konzentration gerechnet, wie diejenigen vor Belichtung.

Tabelle VII.

Wellenlängen	Kaninchen					
	1. Versuch			2. Versuch		
	Vor Belichtung	Nach Belichtung		Vor Belichtung	Nach Belichtung	
		1. Messung	2. Messung		1. Messung	1. Messung
680 $\mu\mu$	0.0043	(— 0.001)	(— 0.002)	0.0050	0.0072	0.0036
640 „	0.0064	—	0.—	0.0044	0.0029	0.0043
600 „	0.0515	0.0282	0.0093	0.0321	0.0155	0.0050
580 „	0.0768	0.0475	0.0198	0.0696	0.0375	0.0042
560 „	0.1550	0.0755	0.0351	0.2010	0.1149	0.0537
540 „	0.2758	0.1245	0.0715	0.3307	0.2086	0.1041
520 „	0.3970	0.1888	0.1045	0.4615	0.2799	0.1455
500 „	0.4349	0.2157	0.1221	0.5017	0.3180	0.1912
480 „	0.3960	0.1789	0.1000	0.4406	0.2649	0.1247
460 „	0.2583	0.1170	0.0805	0.2919	0.1547	0.0599
440 „	0.0548	0.0300	0.0194	0.0682	0.0728	0.0167
420 „	0.0007	(— 0.001)	(— 0.008)	(— 0.001)	(— 0.001)	(— 0.003)

Um diese Zahlen richtig zu beurteilen, muß berücksichtigt werden, daß einerseits bei geringem Grade der Konzentration die Beobachtungsfehler einen viel höheren Prozentsatz der Messung ausmachen als bei stärkerem Konzentrationsgrad und infolgedessen die Beobachtungen unsicherer scheinen müssen, und daß andererseits bei der Umrechnung die Werte der ersteren mit größeren Zahlen multipliziert werden als die der letzteren, wodurch die vorhandenen Abweichungen bedeutend mehr hervortreten.

Tabelle VIII.

Wellen- längen	Kaninchen		Frosch <i>Rana temporaria</i>		Bley <i>Abramis brama</i>	
	belichtet mit		belichtet mit		belichtet mit	
	weißem Licht	gelbem Licht	gelbem Licht	blauem Licht	gelbem Licht	blauem Licht
	5 ¹	3	4	2	2	1
700 $\mu\mu$	(— 0.004)	0.0094	—	—	0.0230	0.0158
680 "	0.0050	0.0198	—	0.—	0.0211	0.0049
660 "	0.0002	0.0094	—	(— 0.014)	0.0427	0.0162
640 "	0.—	0.0164	—	0.0079	0.0645	0.0180
620 "	0.0255	0.0114	0.0191	0.0350	0.1105	0.1114
600 "	0.0413	0.0297	0.0236	0.0629	0.2540	0.1695
580 "	0.1135	0.0488	0.0556	0.0989	0.3591	0.3909
560 "	0.1752	0.2055	0.1884	0.1807	0.4777	0.4842
540 "	0.3363	0.3476	0.3137	0.3066	0.5040	0.5004
520 "	0.4607	0.4328	0.4606	0.4453	0.4555	0.4545
500 "	0.5173	0.5284	0.5116	0.5135	0.3642	0.3205
480 "	0.4447	0.4383	0.4507	0.4649	0.2088	0.2372
460 "	0.2849	0.2479	0.2885	0.3371	0.0159	0.0196
440 "	0.0744	0.0967	0.1474	0.1102	0.0105	0.0221
420 "	(— 0.019)	(— 0.008)	0.0286	0.0183	0.0094	—

Trotzdem geht aus der Tabelle deutlich hervor, daß es gar keinen Unterschied macht, ob mit weißem, mit gelbem oder blauem Lichte die allmähliche Zersetzung vorgenommen wird, und daß wir, um die zufälligen Unsicherheiten bei den Beobachtungen möglichst auszugleichen, sämtliche Kurven nach Belichtung für jede Art zu einem Mittelwert vereinigen können. Die so gewonnenen Mittelwerte² sind in der folgenden Tabelle IX angegeben, und zum Vergleich sind die vor Belichtung gewonnenen noch einmal abgedruckt.

Daß auf gleiche Konzentration gerechnet die Kurven nach Belichtung mit denen vor Belichtung so genau übereinstimmen,

¹ Es sei noch einmal darauf hingewiesen, dass diese Zahlen die Anzahl der eventuell zu einem Mittelwert vereinigten Beobachtungsreihen angeben.

² Die einzelnen Reihen sind in Tabelle D des Anhangs angegeben.

Tabelle IX.

Wellenlängen	Bley <i>Abramis brama</i>		Frosch <i>Rana temporaria</i>		Kaninchen		Affe <i>Kalitrichus sabaens</i>	
	Vor	Nach	Vor	Nach	Vor	Nach	Vor	Nach
	Belichtung	Belichtung	Belichtung	Belichtung	Belichtung	Belichtung	Belichtung	Belichtung
	9	3	5	6	5	8	6	2
700 $\mu\mu$	0.0021	0.0194	0.0054	—	0.0012	0.0027	0.0125	(— 0.001)
680 "	0.0125	0.0154	(— 0.005)	0. —	0.0061	0.0139	(— 0.005)	—
660 "	0.0249	0.0339	0.0019	(— 0.014)	0.0040	0.0022	0.0039	0.0299
640 "	0.0579	0.0490	0.0054	0.0079	0.0089	0.0123	0.0051	—
620 "	0.1174	0.1108	0.0133	0.0244	0.0112	0.0184	0.0185	(— 0.022)
600 "	0.2477	0.2259	0.0260	0.0367	0.0348	0.0369	0.0384	0.0356
580 "	0.3715	0.3697	0.0599	0.0701	0.0753	0.0811	0.0539	0.0598
560 "	0.4744	0.4798	0.1859	0.1858	0.1892	0.1865	0.1890	0.2060
540 "	0.5009	0.5028	0.3461	0.3113	0.3464	0.3405	0.3221	0.3562
520 "	0.4638	0.4552	0.4713	0.4555	0.4653	0.4577	0.4714	0.4537
500 "	0.3725	0.3496	0.5027	0.5122	0.5106	0.5214	0.5069	0.4943
480 "	0.2024	0.2182	0.4502	0.4554	0.4453	0.4423	0.4423	0.4736
460 "	0.0223	0.0171	0.3112	0.3047	0.2768	0.2710	0.2715	0.2958
440 "	0.0018	0.0144	0.1419	0.1484	0.0893	0.0828	0.0931	0.1090
420 "	0.0051	0.0094	(— 0.008)	0.0252	(— 0.002)	(— 0.012)	0.0095	0.0074

ist der beste Beweis dafür, daß durch die Belichtung wirklich nichts weiter als Abnahme der Konzentration bewirkt wird.

Da wir die Beobachtung der Zersetzung des Sehpurpurs bei allmählich abnehmender Konzentration bis zu fast völliger Farblosigkeit durchgeführt haben, erscheint es ausgeschlossen, daß wir ein gelbes Zwischenstadium übersehen haben sollten. Am deutlichsten geht dieses aus den in Tabelle D des Anhanges gemachten Angaben der wirklich beobachteten Konzentration in einer Reihe von Messungen hervor, die das Erbleichen des Sehpurpurs vom Frosch unter der Einwirkung gelben Lichtes verfolgen.

Tabelle X.

Wellenlängen	Frosch	
	Nach Belichtung mit Sonnenlicht	Vor Belichtung
680 $\mu\mu$	0.0069	(— 0.005)
660 "	(— 0.028)	0.0019
640 "	0.0069	0.0054
620 "	0.0169	0.0133
600 "	0.0891	0.0260
580 "	0.1467	0.0599
560 "	0.1924	0.1859
540 "	0.3105	0.3461
520 "	0.4487	0.4713
500 "	0.4926	0.5027
480 "	0.4834	0.4502
460 "	0.3399	0.3112
440 "	0.1358	0.1419
420 "	0.0194	(— 0.008)

Auf die Wahrnehmungen, die wir bei Betrachtung der Zersetzung mit bloßem Auge machten, legen wir weniger Gewicht, zumal hier das Urteil von uns beiden zuweilen verschieden ausfiel; der eine meinte nicht selten, bei der Bleichung, besonders der Netzhäute, die Farbe des Übergangsstadiums als gelb bezeichnen zu müssen, wenn der andere die Richtigkeit dieser Bezeichnung bezweifelte. Jedenfalls

haben wir nicht versäumt, in einem Falle, als wir die Zersetzung von Froschsehpurpur am Tageslicht verfolgten, eine Messung der belichteten, gelb aussehenden Lösung vorzunehmen. Das Resultat derselben ist in der vorstehenden Tabelle X der Absorption des Froschsehpurpurs vor Belichtung gegenübergestellt.

Wenn man in Betracht zieht, daß hier die in der ersten Reihe wirklich gemessene Absorption sehr gering war (bei 500 $\mu\mu$ betrug sie 0,13) und die Unsicherheit der Beobachtung dadurch stark hervortreten muß, so ist die Übereinstimmung eine sehr gute zu nennen. Sie zeigt, daß auch in diesem Falle nur eine Abnahme der Konzentration erfolgt und der Augenschein trügerisch war.

Das Ergebnis dieses letzten Teils unserer Untersuchung läßt sich also dahin zusammenfassen, daß wir das Vorkommen von Sehgelb bei den Tieren entschieden verneinen müssen; der Sehpurpur erbleicht, ohne in eine anders gefärbte Substanz überzugehen.

Zum Schlusse sei uns gestattet, Herrn Prof. A. KÖNIG unseren Dank auszudrücken für so manchen wertvollen Rat, mit dem er unsere Arbeit unterstützte.
