

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

## Über farbige Lichtfilter.

### Einige photometrische Untersuchungen.

Von

GUNNI BUSCK,

Laboratoriumsassistent bei „FRANZENS med. Lysinstitut“ in Kopenhagen.

Bei lichtbiologischen Untersuchungen ist die Forderung allmählich mehr und mehr in den Vordergrund getreten, daß die Qualität des benutzten Lichtes in jedem einzelnen Versuch genau bestimmt werden muß, weil die Wirkung in den verschiedenen Spektralabschnitten in der Regel verschieden ist; es liegen ja sogar Beispiele einer geradezu antagonistischen Wirkung der Strahlen verschiedener Wellenlänge vor. — Bedeutend geringeres Gewicht ist häufig auf die genaue Bestimmung der Intensität der Spektrallichter gelegt worden; und doch ist eine solche ein nicht weniger wichtiges Glied in der experimentellen lichtbiologischen Technik als die spektroskopische Untersuchung der Art der Strahlen. Es lassen sich zahlreiche Beispiele dafür anführen, daß starkes und schwaches Licht qualitativ verschiedene biologische Wirkungen besitzen kann: Starkes Licht wirkt bekanntlich selbst auf derartige Organismen destruirend, für welche eine weniger intensive Belichtung auf die Dauer eine Lebensbedingung ist; ein Organismus kann sich negativ phototaktisch gegenüber starkem und positiv phototaktisch gegenüber schwachem Licht verhalten usw.

Es ist indessen häufig mit recht grossen Schwierigkeiten verbunden, sich monochromatisches Licht von bestimmter Intensität zu verschaffen, besonders wenn man eine grössere Fläche gleichmässig zu belichten wünscht.

Je grössere Forderungen an den Monochromatismus des Lichtes gestellt werden — je engere Grenzen man für das Spektralgebiet ziehen will, mit welchem man zu arbeiten beabsichtigt — desto schwieriger wird es, sich hinreichend starkes Licht zu verschaffen. Freilich ist eine Erhöhung der Intensität durch Konzentration der betreffenden Strahlen möglich, aber die Grösse der belichteten Fläche wird alsdann auch in entsprechendem Grade verkleinert. —

Die Methoden, welche zur Anwendung gebracht werden können, wenn es sich darum handelt, Licht von bestimmter Brechbarkeit herzustellen, sind in Kürze folgende:

1. Es lassen sich Lichtquellen benutzen, welche ausschliesslich oder vorzugsweise Strahlen der gewünschten Wellenlänge entsenden.

Ultra-rote Strahlen verschafft man sich z. B. durch Erwärmung eines Stückes mattgeschwärtzten Metalls bis zu etwas unter Rotgluthitze.

Monochromatisches Licht im engsten Sinne geben einzelne glühende Metalldämpfe wie z. B. die Natrium- und die Thalliumflamme, resp. in gelb und in grün.

Eine ausschliesslich ultra-violette Strahlen entsendende Lichtquelle ist nicht bekannt; aber durch Anwendung von Induktionsfunken zwischen Magnesiumelektroden, oder Bogenlicht zwischen abgekühlten Metallelektroden (BANG) lässt sich ein an stark brechbaren Strahlen bedeutend reicheres Licht erzeugen, als das Licht der gewöhnlich gebrauchten Lichtquellen.

2. Mittels der prismatischen Zerlegung des „weissen“ Lichtes, ist überall im Spektrum ein ideal monochromatisches Licht zu erhalten, aber die Kollimatorspalte muss alsdann auch so schmal gemacht werden, dass die Lichtstärke in den einzelnen Spektralabschnitten, selbst bei Benutzung einer kräftigen Lichtquelle, sehr gering wird.

3. Endlich ist die Filtriermethode zu nennen, die im allgemeinen zur Anwendung kommen muss, wo eine grössere

Fläche belichtet werden soll, oder wo besonders starkes Licht von einigermaßen gleichartiger Brechbarkeit erforderlich ist.

Als Lichtfilter sind seit langer Zeit gefärbte Glasplatten im Gebrauch; ihre Vorzüge liegen in der leichten Handhabung und der verhältnismäßig großen Haltbarkeit der Farben, aber in anderer Beziehung lassen sie viel zu wünschen übrig. Nur das rote Überfangglas (Rubinglas) gibt in dickeren Schichten monochromatisches Licht, alle anderen Glassorten lassen Strahlen von recht verschiedener Brechbarkeit passieren. Außerdem ist die Farbennuance auf verschiedenen Stellen derselben Glasplatte oft verschieden. — RALEIGH<sup>1</sup> und KIRSCHMANN<sup>2</sup> haben gefärbte Kollodium- oder Gelatineplatten als Filter empfohlen. Der Umstand, daß die zur Herstellung benutzten Anilinfarbstoffe recht schnell im Licht bleichen — abgesehen davon, daß Gelatine weder Feuchtigkeit noch Wärme verträgt — hat bewirkt, daß diese Filter eine nur geringe Verbreitung gewonnen haben. Die Helligkeit der durchgelassenen Strahlen ist außerdem im allgemeinen nicht groß.

Bedeutend bessere Resultate — sowohl in bezug auf Gleichartigkeit wie auf Lichtstärke — werden mittels gefärbter, in Glasgefäßen mit geschliffenen plan-parallelen Wänden eingeschlossener Flüssigkeiten erzielt. Durch Kombination derartiger Filter — oder durch direkte Mischung verschiedener Farbstofflösungen, kann man sich einigermaßen monochromatisches Licht gebende Filter verschaffen.

Ich will hier nicht auf eine Erörterung der Frage eingehen, welche Farbstoffe am besten zur Herstellung von Filtern dieser Art geeignet sind, sondern diesbezüglich auf LANDOLTS<sup>3</sup> und NAGELS<sup>4</sup> Arbeiten auf diesem Gebiet verweisen.

Der letztgenannte Verfasser hat eine Reihe zusammengesetzter Farbstofflösungen angegeben, welche in verschiedenen Spektralabschnitten annähernd monochromatisches Licht von verhältnismäßig großer Lichtstärke geben.

Die Grenzen für das Spektralgebiet jedoch, welches ein solches

<sup>1</sup> RALEIGH: Nature 1881.

<sup>2</sup> KIRSCHMANN: *Philos. Studien v. W. WUNDT*, 6, S. 543—552. 1891.

<sup>3</sup> LANDOLT: Berl. deutsch. chem. Gesellschaft, 1894, S. 2872.

<sup>4</sup> NAGEL: *Biolog. Zentralblatt* 18, S. 649. 1898.

Filter passieren läßt, sind ziemlich unscharf und — praktisch genommen variieren sie außerdem einerseits mit der Konzentration und mit der Dicke der Flüssigkeitsschicht — andererseits mit der Intensität des benutzten Lichtes. Sie lassen sich im allgemeinen ziemlich leicht durch einfache spektroskopische Untersuchung bestimmen. — Eine quantitative Feststellung der Lichtabsorption in einem bestimmten Strahlenfilter — eine Bestimmung des Extinktionskoeffizienten — erfordert indessen viel Zeit, falls sie mit nur annähernder Genauigkeit ausgeführt werden soll; außerdem steht das zu einer derartigen Untersuchung notwendige Inventarium in vielen Fällen wohl auch nicht zur Verfügung. Die untenstehenden Tabellen über die Absorption in etlichen häufig benutzten Lichtfiltern wird daher vielleicht einen gewissen praktischen Wert für diejenigen Forscher haben, welche sich mit lichtbiologischen Experimenten beschäftigen.

Zu meinen Untersuchungen habe ich ein HELMHOLTZSches Spektrophometer<sup>1</sup> benutzt. Als Lichtquelle verwendete ich Nernstlampen — oder, genauer genommen, zwei gleich große Mattglasscheiben, die von hinten von je einer Nernstlampe belichtet wurden und vor den entsprechenden Kollimatorspalten fest angebracht waren. — Ich arbeitete im Dunkelzimmer und die Nernstlampen waren von lichtdichten Metallzylindern umgeben, in deren Vorderwand die erwähnten Mattgläser angebracht waren. Das Prisma des Spektrophotometers war überdies gegen Nebenlicht durch lichtdichte Sammetvorhänge geschützt.

Die Farbstofflösungen stellte ich stets unmittelbar vor der Untersuchung her, unter Verwendung frisch ausgekochten destillierten Wassers (um Bildung von Luftbläschen auf den Wänden des Filters zu vermeiden). Die Lösungen wurden in Glasgefäßen mit geschliffenen, planparallelen Wänden eingeschlossen. Die Dicke der Flüssigkeitsschicht betrug 1 Zentimeter. Das Filter wurde senkrecht zur Strahlenrichtung unmittelbar vor einer der Kollimatorspalten angebracht.

Es erwies sich als notwendig, vor jeder Benutzung des Spektrophometers den Nullpunkt der Kollimatorspalten sowie den Platz der Natriumlinien in den zwei Spektren von neuem zu bestimmen, um danach die Einstellungen zu korrigieren.

---

<sup>1</sup> Eine Beschreibung dieses Apparates findet sich in *dieser Zeitschr.* 4, 217 ff. 1892.

Auch die Stellung der Nikol-Prismen mußte beständig kontrolliert werden.

Bei den Untersuchungen verfuhr ich nun folgendermaßen: Nachdem ich das betreffende Filter vor der Lichtquelle angebracht hatte, bestimmte ich erst bei weiter Kollimatorspalte (1 mm) die Grenzen für die hindurchgehenden Spektralabschnitte: Darauf wurde eine systematisch quantitative Messung der Lichtstärke an einer Reihe von Punkten, entsprechend Strahlen von verschiedener Wellenlänge innerhalb dieser Spektralabschnitte, vorgenommen. Das Verhältnis zwischen den Weiten der Kollimatorspalten nach jeder Einstellung benutzte ich als Maß für die Absorption des Filters für die betreffende Strahlenqualität.

Die untenstehenden Tabellen geben also die gemessene Lichtstärke in den verschiedenen Spektralabschnitten an, ausgedrückt in Prozenten der ursprünglichen Lichtstärke. Jede der Zahlen ist als Mittelwert aus im ganzen 10 Einstellungen hervorgegangen und zwar 5 mit dem Filter vor dem rechten und 5 mit dem Filter vor dem linken Kollimatorspalt. Ich kontrollierte fernerhin die Richtigkeit meiner Messungen, indem ich — mit einigen Tagen Zwischenraum — die ganze Untersuchung eines und desselben Filters wiederholte, oder indem ich die Absorptionskurve für die doppelte Filterdicke oder für eine doppelt so starke Lösung desselben Farbstoffes bestimmte, um sie darauf mit der berechneten Kurve zu vergleichen.

Da sich bei diesen kontrollierenden Versuchen ergab, daß meine Fehlergrenze 5% war, erachtete ich es für richtig, meine Angaben innerhalb dieses Spatiums nach dem wahrscheinlichen Verlauf der Absorptionskurve zu korrigieren.

(Siehe Tabellen auf S. 109 und 110.)

Aus den hier angeführten Zahlen lassen sich die Absorptionsverhältnisse anderer Filterdicken und anderer Lösungsverhältnisse der untersuchten Farbstoffe bestimmen. Besonders bequem ist es hierzu ENGELMANN'S Tabellen zu benutzen, in welchen die notwendigen Berechnungen ein für allemal ausgeführt sind, und in welchen man ebenfalls leicht die Extinktionskoeffizienten,

Wellenlänge in $\mu\mu$	748	730	713	696	680	664	649	635	622	609	597	586	576	566	557	548	540	532
Lithion- Karmin 0,1%	70	75	79	80	76	67	55	30	10	2	0	0	0	0	0	0	0	0
Fuchsin 0,1%	66	70	73	76	77	75	70	60	45	22	10	2	0	0	0	0	0	0
Saffranin 0,04%	75	80	85	87	87	85	81	74	64	45	25	8	3	0	0	0	0	0
Bichrom- saures Kalium 5%	45	55	63	72	80	87	94	90	80	80	87	87	80	70	60	43	15	6
Monochrom- saures Kalium 5%	73	80	86	92	95	94	90	89	90	94	96	96	96	95	94	91	88	84
Pikrin- säure 1%	78	85	91	95	97	97	95	91	90	90	90	90	90	90	90	92	95	94
Orange G. (GRÜBLER) 1%	85	88	89	90	90	90	90	90	90	88	80	65	45	15	1	0	0	0
Lichtgrün (GRÜBLER) 0,25%	80	75	60	33	9	2	0	0	0	0	0	0	0	1	4	8	14	25
Methyl- grün (GRÜBLER) 0,0001%	67	65	62	55	24	4	0,5	0	0	0	0	0	0,5	1	4	6	10	15
Kupfer- acetat gesätt. Lösung	0	0	0	1	2	4	7	14	24	35	44	52	59	65	70	75	79	81
Cupram- monium- sulfat 5%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pikrin- säure gr 1 gesätt. Lösung von Kupfer- acetat gr 100	0	0	0	0	0	2	3	5	8	13	19	30	42	55	65	71	74	75



welche den hier angegebenen Absorptionsverhältnissen entsprechen, finden kann.<sup>1</sup>

---

Obenstehende Untersuchungen sind während eines Studienaufenthaltes im Physiologischen Institut in Berlin (Dir. Prof. ENGELMANN) in der von Prof. NAGEL geleiteten physikalischen Abteilung ausgeführt. Ich bitte Herrn Prof. W. NAGEL und Herrn Dr. med. PIPEL meinen herzlichsten Dank für die mir bei meiner Arbeit geleistete Hilfe entgegenzunehmen.

---

<sup>1</sup> Eine leicht übersichtliche, graphische Darstellung der Absorptionsverhältnisse der untersuchten Farbstofflösungen in verschiedenen Konzentrationen wird im Heft 10 von „Mitteilungen aus FINSENS med. Lysinstitut“ erscheinen.

*(Eingegangen am 20. September 1904.)*

---